ЦНИИС
МИНТРАНССТРОЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА (ВЫЕМОК) В ЛЕГКОВЫВЕТРИВАЮЩИХСЯ СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ

Москва, 1974г.

gost.e-ecolog.ru

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ:
Зам.директора института
/Г.ХАСХАЧИХ/

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА (ВЫЕМОК) В ЛЕГКОВЫВЕТРИВАЮЩИХСЯ СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ

Москва 1974

УДК 625.114:624.131.25

© ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА, 1974г.

П Р Е Д И С Л О В И Е

Настоящие методические указания разработаны в развитие "Предложений по совершенствованию норм проектирования скальных выемок" (ЦНИИС, 1968). Они освещают вопросы прогнозирования общей и местной устойчивости откосов выемок в легковыветривающихся породах, получения расчетных параметров, типового и индивидуального проектирования и др. Приводимые количественные показатели расчетных параметров и значений интенсивности выветривания являются ориентировочными и подлежат дальнейшему уточнению по мере накопления опыта проектирования.

Методические указания предназначены для использования при проектировании выемок вновь строящихся дорог и при разработке оздоровительных мероприятий на эксплуатируемых объектах.

Основные вопросы, освещенные в методических указаниях, предварительно рассматривались в Ленгипротрансе, Мосгипротрансе, Киевгипротрансе, Харгипротрансе и Томгипротрансе, были одобрены и рекомендованы к изданию Главтранспроектом.

Методические указания составлены в лаборатории конструкций земляного полотна кандидатами техн.наук Ф.И.ЦЕЛИКОВЫМ, Е.А.ЯКОВЛЕВОЙ, А.И.ПЕСОВЫМ и инженерами А.М.ВОЛОДИНЫМ, Г.И.КОКОВАШИНОЙ, Л.М.БИРЮКОВОЙ, Л.И.КУЗНЕЦОВОЙ.

ЗАМ.ДИРЕКТОРА ИНСТИТУТА

/Г.ХАСХАЧИХ/

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛЕНИЯ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И
ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ

/Б.ЦВЕЛОДУБ/

I. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГКОВЫВЕТРИВАЮЩИХСЯ СКАЛЬНЫХ ПОРОД И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТКОСОВ В НИХ

Характеристика легковыветривающихся пород

I.I. Легковыветривающиеся породы (аргиллиты, алевролиты, глинистые мергели и др.) обычно встречаются в различных сочетаниях между собой, а также переслаиваются с более стойкими по отношению к выветриванию породами (песчаниками, известняками, доломитами и др.).

I.2. Рассматриваемые породы, даже если они имеют первоначально относительно высокую прочность, после обнажения в откосах начинают в большинстве случаев быстро разрушаться (в пределах зоны активного воздействия выветривания). При этом в поверхностных частях вскрытого массива образуется преимущественно щебенисто-дресвяный или дресвяно-песчано-пылевато-глинистый материал.

I.3. С увеличением степени выветрелости пород прочность их и объемный вес уменьшаются, а пористость и влажность возрастают.

I.4. Породы одного наименования могут иметь различную степень устойчивости по отношению к выветриванию. Это объясняется комплексным влиянием на степень устойчивости к выветриванию легковыветривающихся пород большого числа, трудно поддающихся количественному учету различно воздействующих факторов: состава и типа цемента, степени метаморфизма, химического и минералогического составов и т.п.

Классификация пород

I.5. Основным показателем состояния пород в откосе следует считать их отношение к переменному высушиванию и увлажнению. Методика определения этого показателя приведена в приложении I.

Поведение породы в условиях переменного высушивания и увлажнения дает возможность прогнозировать состояние откосов во времени,[1] так как оно отражает совокупное влияние трудно поддающихся количественному учету факторов, определяющих выветриваемость пород.

I.6. Разделение легковыветривающихся пород по степени устойчивости их к выветриванию на группы представлено на рис. I.

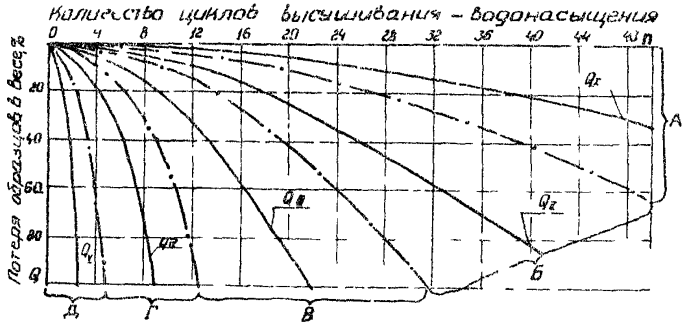


Рис. I. Зависимости потери образцов в весе (за счет фракций менее 10 мм) от количества циклов высушивания – водонасыщения для различных по степени устойчивости групп пород: $Q_г, Q_I, Q_{II}, Q_{III}; Q_{IV}$ – средние значения потерь в весе пород соответствующих групп; ——·——·—— границы между группами

А) I группа – породы относительной устойчивости
Б) II группа – породы средней устойчивости
В) III группа – породы слабой устойчивости
Г) IV группа – породы неустойчивые
Д) V группа – породы весьма неустойчивые

Методика использования графика приведена в приложении I и в разделах 2 и 3.

---

1 Имеющиеся общие инженерно-геологические классификации предусматривают регистрацию состояния пород на момент обследования, но не увязаны с состоянием их (интенсивностью выветривания) на ближайшую перспективу [I, 2, 3, 4]. Разделение пород на слабо- и легковыветривающиеся в проектно-изыскательской практике обычно не предусматривает четких количественных критериев для отнесения пород к той или иной группе [5, 6, 7, 8].

I.7. Для каждой выделенной группы пород по устойчивости их к выветриванию прогнозируется вероятная мощность образования в них зоны выветривания во времени (рис.2) и интенсивность осыпания продуктов выветривания с I м^2 поверхности откоса в зависимости от крутизны и литологии пород (рис. 3).

Виды деформаций откосов выемок

I.8. Основными видами деформаций откосов выемок и полувыемок в легковыветривающихся скальных породах являются:

осыпи интенсивно выветривающихся пород;

выпадение из откосов отдельных глыб (обломков) пород более стойких к выветриванию (песчаников, известняков и др.), чем переслаивающие их легковыветривающиеся породы;

обвалы из-за нарушения общей устойчивости откосов;

оползни и сплывы сильно выветрившегося поверхностного слоя коренных пород и делювиального по

размывы откосов, сложенных выветривающимися породами.

Особенности проектирования откосов в легковыветривающихся скальных породах

I.9. В процессе проектирования необходимо осуществлять прогнозирование (расчет) общей и местной устойчивости откосов.

На основании полученных результатов оценки общей и местной устойчивости можно установить оптимальную в технико-экономическом отношении конфигурацию откосов по методике приведенной в приложении 2.

I.10. Расчет общей устойчивости необходим для оценки вероятности возникновения обвалов и оползней.

Определение местной устойчивости требуется для прогнозирования интенсивности осыпания продуктов выветривания с откосов в процессе эксплуатации и возможности появления сплывов, а также для осуществления технико-

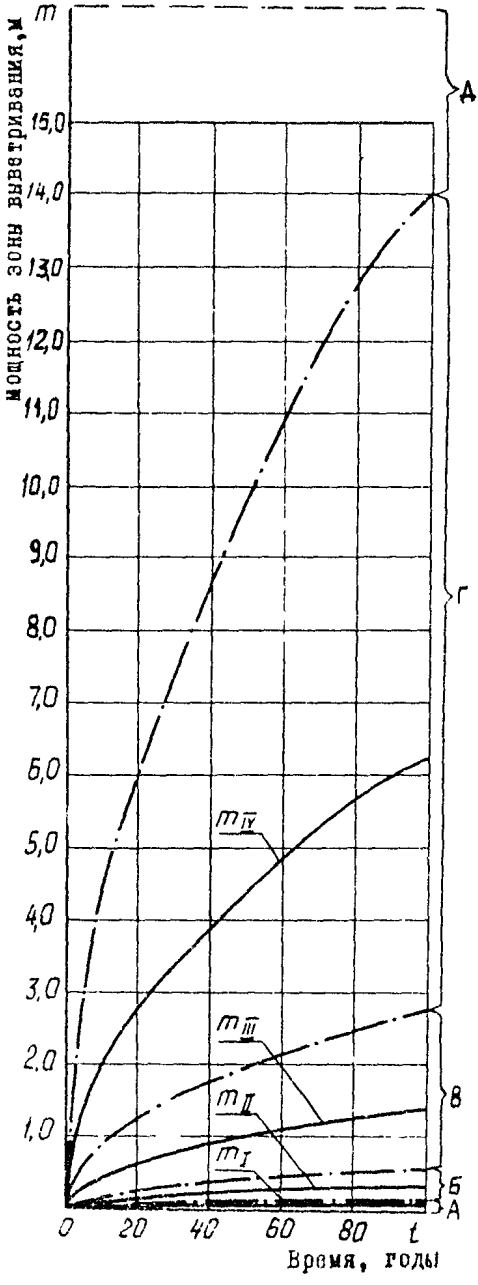


Рис.2. Зависимости изменения мощности зоны выветривания от времени для различных по степени устойчивости групп пород: $m_I, m_{II}, m_{III}, m_{IV}$ – средние значения мощности зоны выветривания пород соответствующих групп; —·—·— границы между группами

А) I группа – породы относительно устойчивые / a_{max} =0,015м/год/

Б) II группа – породы средней устойчивости / a_{max} = =0,057 м/год/

В) IУ группа – породы слабой устойчивости / a_{max} = = 0,275 м/год/

Г) IУ группа – породы неустойчивые / a_{max} =1,405м/год/

Д) У группа – породы весьма неустойчивые / a > 1,405м/год/

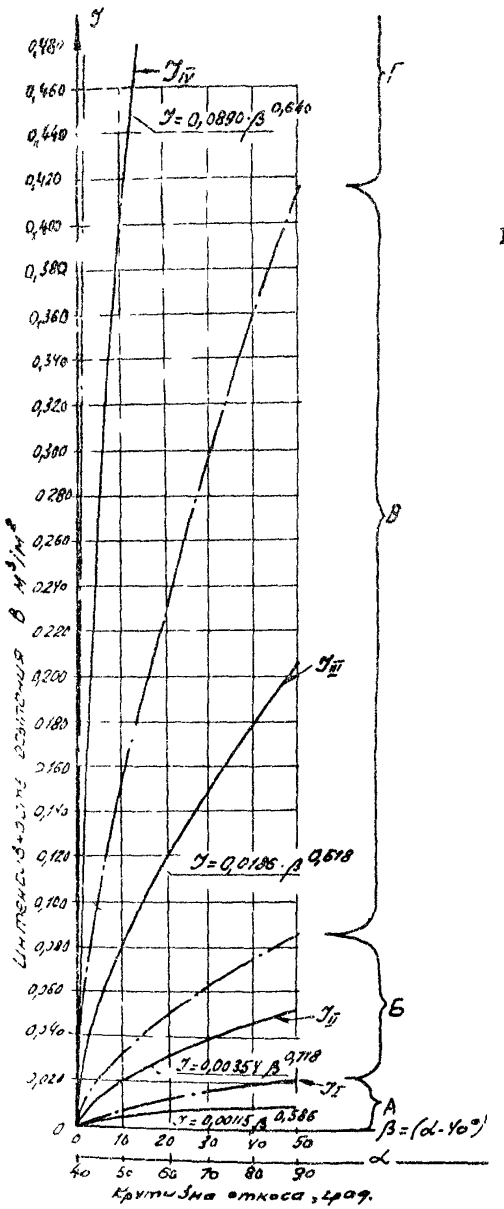


Рис.3. Зависимости интенсивности осыпания от крутизны откосов для различных по степени устойчивости групп пород: $J_I; J_{II}; J_{III}; J_{IV}$ – средние значения интенсивности осыпания пород соответствующих групп; — · — · — · — границы между группами

А) I-группа – породы относительно устойчивые
Б) II группа – породы средней устойчивости
В) III группа – породы слабой устойчивости
Г) IV группа – породы неустойчивые

экономического сравнения вариантов и выбора оптимального очертания откосов.

I.II. Особенности проектирования откосов в легковыветривающихся скальных породах связаны с тем, что массивы, в которых они устраиваются, являются структурной анизотропной (неоднородной) средой, поэтому к ним, как правило, не применимы основные расчетные методы, разработанные для оценки устойчивости рыхлых грунтов.

Учет структурной анизотропии исключает (или весьма затрудняет) возможность использования какого-либо универсального способа оценки общей устойчивости откосов, вызывает появление множества расчетных схем, а также необходимость определения большого количества различных параметров и требует тщательной регистрации инженерно-геологических особенностей массива.

2. РАСЧЕТ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ВЫЕМОК

Расчетные схемы

2.I. Общую устойчивость откосов (при индивидуальном проектировании) следует оценивать в зависимости от их очертания, характера и расположения поверхностей ослабления (трещиноватости, слоистости) по отношению к проектируемому откосу, группы пород по устойчивости к выветриванию (см.рис.I) и прочностных параметров.

2.2. При оценке общей устойчивости следует руководствоваться расчетными схемами[I], представленными в табл.I и на рис. 4, где отражены наиболее характерные условия, встречающиеся в практике. Расчет общей устойчивости сводится к определению предельной высоты устойчивого откоса заданной крутизны при принятом коэффициенте запаса.

[I] В основу предлагаемых схем положены рекомендации Фисенко Г.Л. [2,9,I0] и Савкова Л.В. [II,I2]; учтены при этом результаты обобщения и анализа других расчетных методов, а также исследований, проведенных в ЦНИИСе.

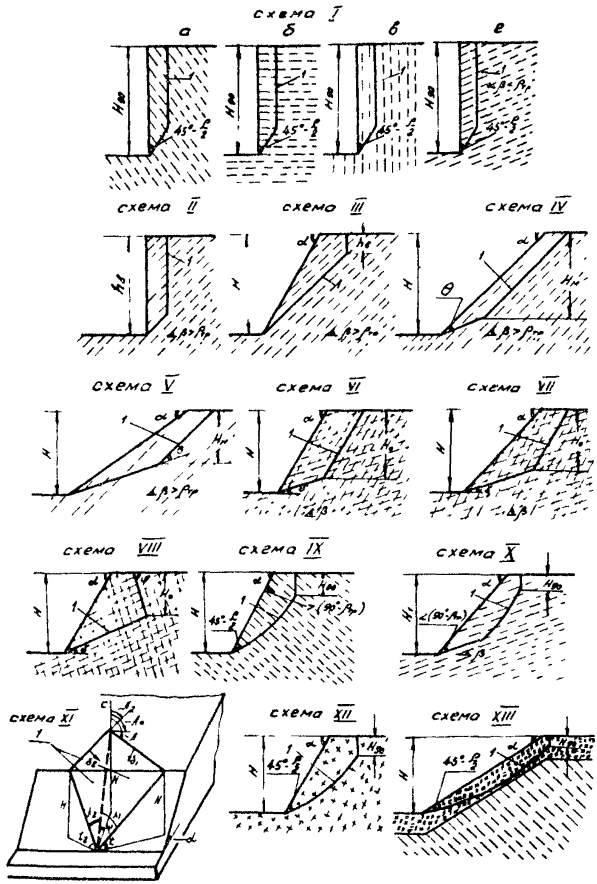


Рис. 4. Расчетные схемы общей устойчивости:
I – контур поверхности сооружения

Таблица I

№ расчетных схем	Характеристика расчетных условий для определения предельной высоты устойчивого откоса	Последовательность расчетов (расчетные формулы)	Необходимые расчетные параметры	Примечания
I	Откос вертикальный, расположение поверхностей ослабления благоприятное ($\beta < \rho_{тр}$)	$H_{90} = \frac{2C_м}{\gamma_0} ctg\left(45 - \frac{\beta}{2}\right)$	$C, \rho, \gamma_0, C_м, \ell = \frac{1}{W}, C_{тр}$	Рис. 1 приложения 3 Рис.4
II	Откос вертикальный, расположение поверхностей ослабления неблагоприятное ($\beta > \rho_{тр}$)	$h_в = \frac{C_{тр}}{\gamma_0} \cdot \frac{\cos\rho_{тр}}{\cos\beta \cdot \sin(\beta - \rho_{тр})}$	$C_{тр}, \rho_{тр}, \gamma_0$	Рис.2 приложения 3 Рис.4
III	Откос различной крутизны (α), расположение поверхностей ослабления неблагоприятное ($\beta > \rho_{тр}$; $\alpha \geq \beta$)	$H = \frac{C_{тр}}{\gamma_0} \cdot \frac{\cos\rho_{тр}}{\cos\beta \sin(\beta - \rho_{тр})(1 - \sqrt{ctg\alpha \cdot ctg\beta})}$	$C_{тр}, \rho_{тр}, \gamma_0$	Рис.3 приложения 3 Рис.4
IУ	Поверхность откоса совпадает с направлением поверхностей ослабления. Расположение поверхностей ослабления неблагоприятное ($\alpha = \beta$, $\beta > \rho_{тр}$)	$H = A_1 + \sqrt{(H_м - A_1)^2 + H_м \cdot B_1}$ $A_1 = \frac{\cos\rho \, C_м}{\gamma_0 \sin\theta \cdot \cos(\theta + \rho)(1 - tg\rho_{тр} \cdot ctg\beta)}$ $B_1 = \frac{2C_{тр} \cdot \cos\rho_{тр} \cdot \sin(\beta - \theta)}{\gamma_0 \sin\theta \cdot \sin(\beta - \rho_{тр})}$ $H_м = A_1 - \frac{B_1}{2}$ $\theta = arctg\left(\frac{\cos\rho}{\sin\rho + \sqrt{\frac{C_м - C_{тр}}{2C_м - C_{тр}}}}\right)$	$C_{тр}, \rho_{тр}, C_м, C, \rho, \gamma_0, \ell = \frac{1}{W}$	Рис. 4 приложения 3 Рис.4

Продолжение табл. I

№ расчетных схем	Характеристика расчетных условий для определения предельной высоты устойчивого откоса	Последовательность расчетов (расчетные формулы)	Необходимые расчетные параметры	Примечания
У	Откос более пологий, чем поверхности ослабления. Расположение поверхностей ослабления неблагоприятное ($\alpha < \beta$; $\beta > \rho_{тр}$)	$H = a_1 + \sqrt{a_1^2 + H_м(H_м \cdot b_1 + \ell_1 - 2a_1)}$ $b_1 = \frac{ctg(\beta-\theta) - ctg\beta}{ctg(\beta-\theta) - ctg\alpha}$ $a_1 = \frac{C_м \cdot \cos\rho \cdot \cos\rho_{тр}}{\gamma_0 [ctg(\beta-\theta) - ctg\alpha] \sin(\beta-\rho_{тр}) \cdot \cos(\theta+\rho) \cdot \sin(\beta-\theta)}$ $\ell_1 = \frac{2C_{тр} \cdot \cos\rho_{тр}}{\gamma_0 [ctg(\beta-\theta) - ctg\alpha] \cdot \sin(\beta-\rho_{тр}) \sin\beta}$ $H_м = \frac{2a_1 - \ell_1}{2b_1}$ $\theta = arctg\left(\frac{\cos\rho}{\sin\rho + \sqrt{\frac{2C_м}{\gamma_0 H_м} - C_{тр}}}\right)$	$C_{тр}$; $\rho_{тр}$; $C_м$; ρ; C; γ_0, $\ell = \frac{1}{w}$	Рис.5 приложения 3 Рис.4
УI	Наличие двух (или более) систем поверхностей ослабления, падающих в сторону откоса под различными углами (δ и β), одна из которых совпадает с направлением поверхности откоса ($\beta = \alpha$; $\beta > \delta$)	$H = A + \sqrt{(H_0 - A)^2 + H_0 B}$ $B = \frac{2C_{тр} \cos\rho_{тр} \cdot \sin\delta}{\gamma_0 \sin(\beta-\delta) \cdot \sin(\beta-\rho_{тр})}$ $A = \frac{C_м \cdot \cos\rho_м \cdot \cos\rho_{тр} \cdot \sin\beta}{\gamma_0 \cdot \sin(\beta-\delta) \cdot \sin(\beta-\rho_{тр}) \cdot \cos[(\beta-\delta)+\rho_м]}$ $H_0 = A - \frac{B}{2}$	γ_0, $\rho_{тр}$, $C_{тр}$ (для двух систем поверхностей ослабления)	Рис.6 приложения 3 Рис.4

Продолжение табл. I

№ расчетных схем	Характеристика расчетных условий для определения предельной высоты устойчивого откоса	Последовательность расчетов (расчетные формулы)	Необходимые расчетные параметры	Примечания
УП	Наличие двух (или более) поверхностей ослабления, падающих в сторону откоса под различными углами ($\delta \cup \beta$) и несовпадающими с углом откоса ($\beta > \alpha > \delta$)	$H = a + \sqrt{a^2 + H_0(H_0 b + f - 2a)}$ $a = \frac{c_1 \cdot \cos\rho_1 \cdot \cos\rho_{тр}}{\gamma_0 (ctg\,\delta - ctg\,\alpha) \cdot \sin(\beta - \rho_{тр}) \cdot \cos(\beta - \delta - \rho_1) \sin\delta}$ $b = \frac{\sin(\beta - \delta) \cdot \sin\alpha}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin\beta}$ $f = \frac{2c_{тр} \cdot \cos\rho_{тр}}{\gamma_0 (ctg\,\delta - ctg\,\alpha) \cdot \sin(\beta - \rho_{тр}) \cdot \sin\beta}$ $H_0 = \frac{2a - f}{2b}$	γ_0, $\rho_{тр}$ Стр (для двух систем поверхностей ослабления)	Рис.7 приложения 3 Рис.4
УШ	Наличие двух (или более) систем поверхностей ослабления, одна из которых имеет падение в сторону выемки под углом δ (при этом $\delta < \alpha$), а другая – в сторону массива под углом φ	$H = m + \sqrt{m^2 + H_0 \cdot (H_0 t + n - 2m)}$ $m = \frac{c_{тр} \cdot \cos\rho_{тр} \cdot \sin\alpha}{\gamma \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\delta - \rho_{тр})}$ $n = \frac{2\delta_p \cdot \cos\rho_{тр}}{\gamma_0 (ctg\,\delta - ctg\,\alpha) \sin(\delta - \rho_{тр}) \cdot \sin\varphi \cdot \sin(\varphi + \delta)}$ $t = \frac{ctg\,\varphi + ctg\,\delta}{ctg\,\delta - ctg\,\alpha}$ $H_0 = \frac{2m - n}{2t}$	$c_{тр}$, $\rho_{тр}$, γ_0, δ_p	Рис.8 приложения 3 Рис.4

Продолжение табл. I

№ расчетных схем	Характеристика расчетных условий для определения предельной высоты устойчивого откоса	Последовательность расчетов (расчетные формулы)	Необходимые расчетные параметры	Примечания
IX	Откос различной крутизны (α) при благоприятном расположении поверхностей ослабления; угол между поверхностью откоса и направлением поверхностей ослабления более (90 – $\rho_{тр}$)	Последовательность расчетов приведена в приложении 4. Для ускоренных определений можно использовать график на рис. 5 (по имеющимся значениям H_{90}, ρ и α определяется $H' = \frac{H}{H_{90}}$)	$C, \rho, C_м$, $\ell = \frac{1}{W}$, $C_{тр}, \gamma_0$	Рис. 1, 2 приложения 4 Рис. 4
X	Откос различной крутизны (α) при благоприятном расположении поверхностей ослабления; угол между поверхностью откоса и направлением поверхностей ослабления менее (90 – $\rho_{тр}$)	Последовательность расчетов приведена в приложении 5. Для ускоренных определений можно использовать график на рис. 6 (искомая высота H определяется в зависимости от H_{90}, α, величины и направления угла падения поверхностей ослабления β)	$C, \rho, C_м$, $\ell = \frac{1}{W}$, $C_{тр}$, $\rho_{тр}, \gamma_0$	Рисунок приложения 5 Рис. 4
XI	Откос различной крутизны (α) при наличии систем двух (или более) поверхностей ослабления, пересекающих поверхность откоса диагонально и имеющих линию взаимного пересечения, падающую в сторону откоса под углом (ψ)	$tg A_\psi = \frac{\cos(A_2+90^\circ)\cdot ctg\delta_1 - \cos(A_1+90^\circ)\cdot ctg\delta_2}{\sin(A_1+90^\circ)\cdot ctg\delta_2 - \sin(A_2+90^\circ)\cdot ctg\delta_1}$ $ctg\psi = \frac{ctg\,\delta_i}{\cos[A_\psi - (A_i+90^\circ)]}$ $tg A_{t_1} = \frac{\cos(A_0+90^\circ)\cdot ctg\delta_1 - \cos(A_1+90^\circ)\cdot ctg\alpha}{\sin(A_1+90^\circ)\cdot ctg\alpha - \sin(A_0+90^\circ)\cdot ctg\delta_1}$ $ctgt_i = \frac{ctg\,\alpha}{\cos[A_{t_i} - (A_0+90^\circ)]}$ $tg A_{t_2} = \frac{\cos(A_0+90^\circ)\cdot ctg\delta_2 - \cos(A_2+90^\circ)\cdot ctg\alpha}{\sin(A_2+90^\circ)\cdot ctg\alpha - \sin(A_0+90^\circ)\cdot ctg\delta_2}$ $ctgt_2 = \frac{ctg\,\alpha}{\cos[(A_0+90^\circ) - A_{t_2}]}$	$C_{тр}, \gamma_0, \rho_{тр}$, A_1, A_2, A_0, $\delta_1, \delta_2, \beta$	Рис. 9 приложения 3 β – угол наклона косогора Рис. 4

Продолжение табл. I

№ расчетных схем	Характеристика расчетных условий для определения предельной высоты устойчивого откоса	Последовательность расчетов (расчетные формулы)	Необходимые расчетные параметры	Примечания
	меньшим, чем угол наклона откоса (объемное расположение поверхностей ослабления)	$\cos\lambda_1 = \sin t_1 \cdot \sin\psi + \cos t_1 \cdot \cos\psi \cdot \cos(A_\psi - A_{t_1})$ $\cos\lambda_2 = \sin t_2 \cdot \sin\psi + \cos t_2 \cdot \cos\psi \cdot \cos(A_\psi - A_{t_2})$ $H = \frac{3C_{тр}\cos\rho_{тр}\left(\frac{\sin\lambda_1}{\sin\psi\sin t_1} + \frac{\sin\lambda_2}{\sin\psi\sin t_2} + \frac{\sqrt{m}\,Z\,tg\beta}{\sin\delta_1} + \frac{\sqrt{K}\,Z\,tg\beta}{\sin\delta_2}\right)}{\gamma_0\Delta\sqrt{m}\,\sin(A_1 - A_0)\sin(\psi - \rho_{тр})}$ где: $Z = \frac{[ctg\psi\sin(A_\psi - A_0) - \frac{tg\beta}{tg\delta_0}]}{1 - ctg\psi \cdot tg\beta\,\sin(A_\psi - A_0)}$ $\Delta = \sqrt{m + K + 2\cos(A_1 - A_2)\cdot\sqrt{m \cdot K}}$ $m = \frac{1}{\sin^2 t_1} + \frac{1}{\sin^2\psi} - \frac{2\cos\lambda_1}{\sin t_1 \cdot \sin\psi}$ $K = \frac{1}{\sin^2 t_2} + \frac{1}{\sin^2\psi} - \frac{2\cos\lambda_2}{\sin t_2 \cdot \sin\psi}$		
XII	Откос различной крутизны (α) при отсутствии выдержанных систем поверхностей ослабления	Последовательность расчетов в этом случае такая же, как и в расчетной схеме IX	$c, \rho, C_м, C_{тр}, \ell = \frac{1}{\sqrt{m}}, \gamma_0$	Рис.4

Продолжение табл. I

№ расчетных схем	Характеристика расчетных условий для определения предельной высоты устойчивого откоса	Последовательность расчетов (расчетные формулы)	Необходимые расчетные параметры	Примечания
XII	Откос различной крутизны (α) при возможности возникновения на поверхности его выветрелого слоя значительной мощности в условиях отсутствия денудации	Последовательность расчетов в этом случае аналогична расчетам в схеме IX. Для ускоренных определений предельной высоты устойчивого откоса можно использовать график на рис. 5	$C_м = C$ ρ, γ.	Рис.4

Примечания.

I. Сдвиговые параметры по контактам более пологих поверхностей ослабления ооозначены в номограммах для этих расчетных схем через C_1 и ρ_1.

2. ρ – угол внутреннего трения в образце, град.;

$\rho_{тр}$ – угол внутреннего трения по контактам поверхностей ослабления, град;

c – сцепление образца, $Т/м^2$;

$c_м$ – сцепление в массиве, $Т/м^2$;

$c_{тр}$ – сцепление по контактам поверхностей ослабления, $Т/м^2$;

γ_o – объемный вес, $Т/м^3$;

$\sigma_р$ – сопротивление отрыву по системе трещин, наклоненных в сторону массива.

Высота проектируемого откоса не должна превышать ее значения, полученного расчетом.

2.3. Для расчетных схем I - УП и XI (см.рис.4) в ЦНИИСе по специально разработанным программам на ЭВМ произведены вычисления для различных сочетаний практически встречающихся в природе значений расчетных параметров. Некоторые из полученных результатов, оформленные в виде номограмм, представлены в приложении 3.

Характеристика расположения поверхностей ослабления

2.4. В расчетных схемах, приведенных в табл. I, под благоприятным понимается следующее расположение поверхностей ослабления:

горизонтальное;

наклонное в сторону массива (запрокинутое);

вертикальное;

наклонное в сторону откоса под углом, меньшим $\varphi_{тр}$;

расположение вкрест простирания с поверхностью откоса, за исключением случаев, когда поверхности ослабления пересекают поверхность откоса под углом, меньшим 30^0, и одновременно имеют угол падения в направлении откоса, превышающий $\varphi_{тр}$.

2.5. Под неблагоприятным залеганием поверхностей ослабления понимается наклонное расположение их в сторону откоса под углом, превышающим $\varphi_{тр}$, а также расположение вкрест простирания с поверхностью откоса, когда поверхности ослабления пересекают поверхность откоса под углом, меньшим 30^0, и одновременно имеют угол падения в направлении откоса, превышающий $\varphi_{тр}$.

Учет обводнения

2.6. Гидростатическое и гидродинамическое давление при расчетах общей устойчивости откосов в легковыветривающихся скальных породах в большинстве случаев не учитывается, поскольку указанные породы, как правило, разбиты сис-

темами трещин и поэтому имеет пологую депрессионную кривую подпора [2, 9].

2.7. Учет гидростатического и гидродинамического давления рекомендуется осуществлять при наличии возможности повышения пьезометрического уровня воды вследствие частичной и полной закупорки трещин во внешней зоне откосов (например, из-за засивки водоносных трещин льдом и т.п.).

2.8. Учет обводнения при расчете общей устойчивости откосов сводится к тому, что в уравнении равновесия призмы возможного обрушения учитывается уменьшение нормальной составляющей N_i веса блоков (которыми эта призма условно разбивается при расчете) на величину ΔN_i, равную

$$\Delta N_i = \ell_i \, \mathcal{D}_i \quad , \qquad (I)$$

где

ℓ_i – длина поверхности обрушения на участке подтопленного блока;

$\mathcal{D}_i$ – величина гидростатического давления в середине основания каждого подтопленного блока [1].

Последовательность выполнения расчетов общей устойчивости откосов

2.9. Общая последовательность расчетов при оценке устойчивости откосов выемок принимается следующей:

на основании имеющихся инженерно-геологических материалов, полученных в результате обследования массива, в котором проектируется откос, строят розу устойчивости, которая характеризует ориентацию поверхностей ослабления по отношению к проектируемому откосу и дает возможность выявить наиболее опасные их системы. В зависимости от сложности инженерно-геологических условий строят одну или несколько роз устойчивости откоса. Образец ее построения приведен в приложении 9.

[1] По исследованиям Г.Л.Фисенко [2], суммарное влияние фильтрационного потока (гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление) на призму возможного обрушения проявляется как гидростатическое давление, распределенное по поверхности скольжения (в зоне обводнения), нормальное к ней и изменяющее только нормальную составляющую. На касательную составляющую водное давление существенного влияния не оказывает.

В зависимости от характера расположения поверхностей ослабления по отношению к проектируемому откосу, выявленному после построения роз устойчивости, устанавливают наиболее опасный (с точки зрения устойчивости) участок по длине проектируемого откоса и наиболее опасные системы поверхностей ослабления, располагающиеся неблагоприятно по отношению к откосу, которые должны быть учтены при выборе расчетной схемы;

с учетом расположения поверхностей ослабления выбирают расчетную схему в соответствии с указаниями табл.I и рис. 4;

определяют значения расчетных параметров в соответствии с указаниями, изложенными в разделе 4. Принятые значения прочностных параметров $C, \varphi, C_{тр}, \varphi_{тр}, C_{м}$ уменьшают на величину коэффициента запаса устойчивости K, который рекомендуется брать равным не менее I,3, т.е.

$$tg\,\varphi_{расч} = \frac{tg\,\varphi}{K}, \quad C_{расч} = \frac{C}{K},$$

для принятой крутизны откоса, применительно к выбранной расчетной схеме, определяется предельная высота устойчивого откоса (по формулам, приведенным в табл. I или в приложениях 4 и 5, а также по номограммам в приложении 3 и на рис. 5 и 6);

если полученная расчетом высота устойчивого откоса $H_р$ оказывается меньше проектной $H_п$, то производят переконструирование (изменение конфигурации) откоса и расчет повторяют до тех пор, пока не будет обеспечиваться условие, при котором $H_п \leq H_р$.

2.I0. В случаях, когда инженерно-геологические условия удовлетворяют одновременно нескольким расчетным схемам, определение общей устойчивости осуществляется по каждой из них и за окончательный результат принимается тот, который дает наименьшее очертание откоса.

2.II. При наличии в откосе слабых прослоек, расположенных выше его подошвы, необходимо осуществлять дополнительную проверку общей устойчивости, ориентируясь на возможность прохождения линии обрушения через указанные прослойки (применительно к одной из схем, указанных в табл. I).

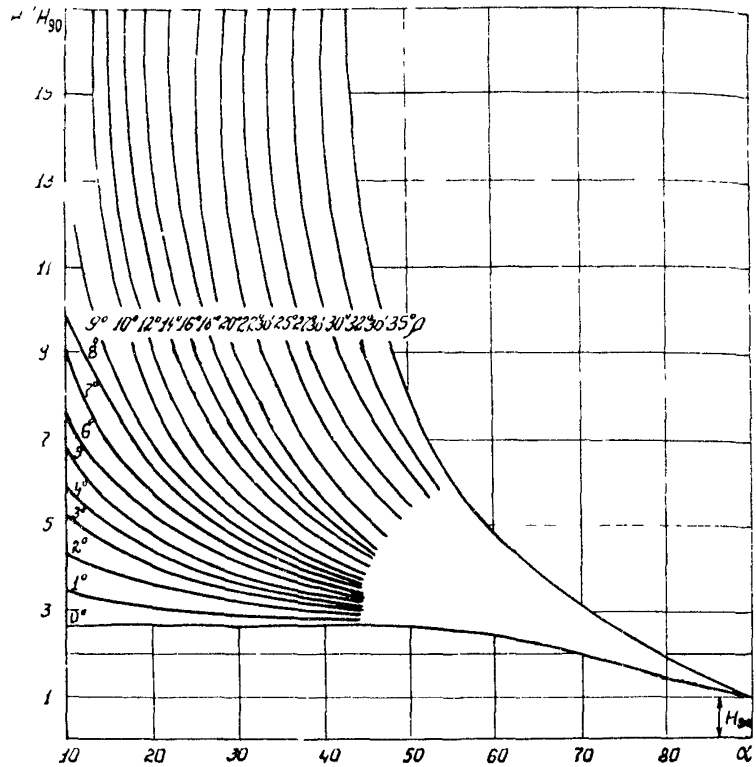


Рис. 5. Зависимость H/H_{90} от угла наклона откоса (α) при разных значениях ρ.

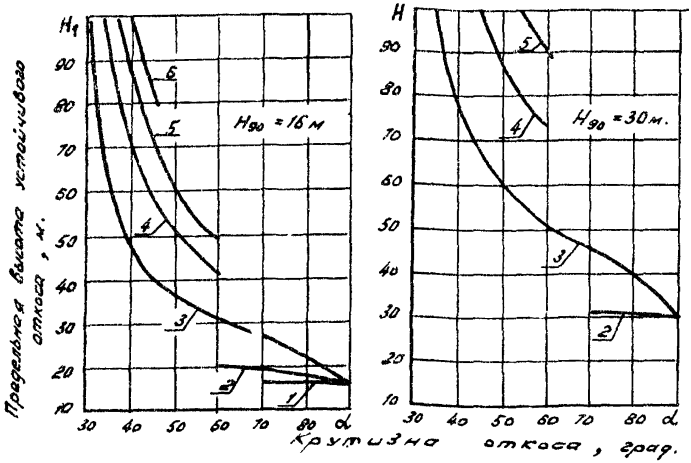


Рис. 6. Предельная высота устойчивого откоса при расчете по схеме I (для некоторых частных случаев):

I – при $\beta = -80^0$; 2 – при $\beta = -20^0$;
3 – при $\beta = -10^0$; 4 – при $\beta = 0^0$;
5 – при $\beta = +10^0$; 6 – при $\beta = +20^0$

3. ОЦЕНКА МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Общие положения

3.I. Расчеты местной устойчивости производят для прогнозирования возможности возникновения деформаций (осыпей, сплывов, промоин) и интенсивности их проявления.

3.2. Для осуществления расчетов местной устойчивости легковыветривающихся скальных пород необходимо прежде всего классифицировать их по устойчивости к выветриванию.

По графику на рис. I определяется группа пород, слагающих откос, в соответствии с указаниями приложения I. Для этого на графике фиксируется положение эксперимен-

тально полученных значений отношения к переменному высушиванию и увлажнению рассматриваемой породы и устанавливается осредненное расположение экспериментальной кривой по отношению к линии средних значений указанного отношения в группе, к которой она отнесена.

С этой целью вычисляется соотношение

$$\frac{N_\phi}{N_i^{ср}} = \frac{n_{i\,100}^{ср} \pm \frac{\sum_1^K (n_{\phi к} - n_{iк}^{ср}) \cdot n_{iк}^{ср}}{\sum_1^K n_{iк}^{ср}}}{n_{i\,100}^{ср}}, \qquad (2)$$

где

$N_{\phi к}$ – количество циклов высушивания и увлажнения, при котором зафиксирован определенный процент потерь в весе исследуемых образцов;

$n_{iк}^{ср}$ – количество циклов высушивания и увлажнения, соответствующее тому же проценту потерь в весе для линии средних значений отношения к переменному высушиванию и увлажнению в группе i;

$n_{i\,100}^{ср}$ – количество циклов высушивания и увлажнения, соответствующее 100% потерь в весе для линии средних значений выделенной группы;

K – количество сравниваемых значений процентов потерь в весе.

Пример практического использования формулы (2) для вычисления соотношения $\frac{N_\phi}{N_i^{ср}}$ приведен в приложении 1

3.3. Расчет местной устойчивости для пород I – III и IУ–У групп проводится по двум принципиально различным методам, что обусловлено разной степенью раздробления пород этих групп в процессе выветривания. В то время как породы I – III групп выветриваются преимущественно до состояния каменисто-щебенисто-дресвяных фракций, породы IУ–У групп – до состояния глинисто-пылевато-песчано-дресвяных фракций. Помимо этого породы IУ – У групп характеризуются повышенной интенсивностью выветривания во времени и отличаются значительной мощностью выветрелой зоны, в пределах которой в перспективе их можно считать рыхлыми грунтами. Поэтому на эти породы при расчетах

устойчивости (как общей, так и местной) можно распространить те же рекомендации, которые приняты для рыхлых грунтов.

Расчет местной устойчивости для пород I - II групп

3.4. Расчет местной устойчивости для пород I - II групп сводится к определению интенсивности поступления продуктов выветривания (объема осыпи) с единицы поверхности откоса и величины отступления бровки откоса во времени. При этом предполагается или периодически убирать продукты выветривания, или оставлять их у подошвы откоса, что влияет на методику расчета.

3.5. Последовательность расчетов при условии периодической уборки продуктов выветривания следующая:

по графику, приведенному на рис. 8, для полученной по испытаниям на переменное высушивание и увлажнение группы пород, вычисленной по формуле (2) величине соотношения $\frac{N_{ср}}{N_i^{ср}}$ и исходной (заданной) крутизны откоса определяется величина интенсивности осыпания рассматриваемых пород $J_{\alpha ф}$ по выражению

$$J_{\alpha ф} = J_{\alpha i}^{ср} \cdot \frac{N_i^{ср}}{N_{ср}} , \qquad (3)$$

где

$J_{\alpha i}^{ср}$ - среднее значение интенсивности осыпания пород выделенной группы при заданной крутизне откоса α , $м^3/м^2$ год;

по выражению (3) для рассматриваемых пород и на основании рис. 3 строится зависимость интенсивности осыпания от крутизны откоса

$$J_{\alpha ф} = f(\alpha) ;$$

по полученному графику $J_{\alpha ф} = f(\alpha)$ определяют значения интенсивности осыпания по мере уположения откоса и прежде всего - возможную интенсивность осыпания в первый год после сооружения откоса заданной крутизны $J_{\alpha ф_1}$

условно принимая крутизну откоса в течение года неизменной, равной запроектированной или фактически полученной после разработки;

вычисляют полную длину ℓ_1 образующей откоса в первый год его существования по выражению

$$\ell_1 = \frac{H_1}{\sin \alpha_1}, \qquad (4)$$

где

H_1 и α_1 – первоначальные (проектные или фактически полученные) значения высоты и крутизны откоса соответственно;

определяют объем осыпи с I пог.м длины откоса (вдоль подошвы) за первый год его существования ΔW_1^0 по выражению

$$\Delta W_1^0 = J_{\alpha\varphi_1} \cdot \ell_1 . \qquad (5)$$

Объем осыпи, накопившейся в течение первого года с I пог.м откоса, приводится к объему породы в плотном состоянии ΔW_1^M по выражению

$$\Delta W_1^M = \frac{\Delta W_1^0}{K_p}, \qquad (6)$$

где

K_p – коэффициент разрыхления, который может быть принят равным I,5;

вычисляют размер отступления бровки откоса выемки ℓ_{α_1} за первый год по выражению

$$\ell_{\alpha_1} = \frac{2\Delta W_1^M}{H_1}; \qquad (7)$$

определяют новый (более пологий) угол наклона откоса после его годичного существования по выражению (рис. 7)

$$(\alpha_1 - \varepsilon_1) = arc\,ctg\left(ctg\,\alpha_1 + \frac{\ell_{\alpha_1}}{H_1}\right), \qquad (8)$$

где

ε_1 – величина уположения откоса за первый год его существования.

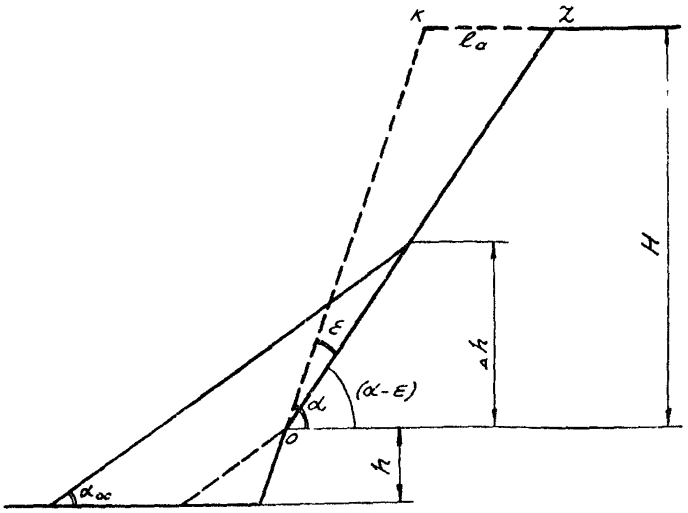


Рис.7. Схема к расчету уположения откоса во времени (за счет осыпания продуктов выветривания)

Затем (для второго года эксплуатации) вычисления повторяют в той же последовательности при принятии в качестве исходного угла $\alpha_1 - \varepsilon_1$ и т.д.

3.6. При оставлении осыпи у подошвы откоса выемки последовательность расчета поступления продуктов выветривания и величины отступания бровки откоса во времени принципиально остается такой же, какой она указана в п.3.5. Однако расчетная высота откоса, с которой возможно в последующем поступление продуктов выветривания, уменьшается на высоту осыпи, ежегодное возрастание которой Δh определяется по формуле [13]

$$\Delta h = -h + \sqrt{h^2 + \frac{\ell_\alpha HK_p}{[ctg\alpha_{oc} - ctg(\alpha-\varepsilon)]}}, \quad (9)$$

где

h – высота осыпи в предшествующем году (см.рис.7);

α – крутизна откоса в предшествующем году;

l_x – величина отступания бровки откоса в рассматриваемом году;

H – расчетная высота откоса;

K_p – коэффициент разрыхления;

α_{oc} – угол наклона откоса осыпи (ориентировочно 35–40°);

ε – величина уположения откоса в рассматриваемом году.

При наличии в пределах проектируемого откоса толщи переслаивающихся пород, имеющих различную устойчивость по отношению к выветриванию, целесообразно осуществлять построение графика $J_{\alpha\varphi} =$ по описанному в п.3.6 методу для каждой литологической разности, а в качестве расчетного для всего откоса принимать выражение $J_{\alpha\varphi} = f(\alpha)$, осредненное (взвешенное) по мощности переслаивающихся пород.

Расчет местной устойчивости для пород IУ – У групп

3.7. Проверка местной устойчивости откосов в породах IУ – У групп заключается в определении вероятности образования на них поверхностных сплывов выветрелого до состояния мелкозема грунта, что оценивается величиной коэффициента местной устойчивости.

3.8. Последовательность расчетов местной устойчивости в этом случае принимается следующей:

для полученной по испытаниям на переменное высушивание и увлажнение группы пород, по величине соотношения $\frac{N_\varphi}{N_t^{cp}}$ и расчетного срока существования откоса t вычисляется мощность прогнозируемой зоны выветривания $m_{t\varphi}$ по выражению

$$m_{t\varphi} = m_{tl}^{cp} \cdot \frac{N_t^{cp}}{N_\varphi} , \qquad (10)$$

где

m_{tl}^{cp} – среднее значение мощности зоны выветривания выделенной группы l на расчетный срок существования откоса, м, определяемое по графику на рис. 2;

оценивается местная устойчивость выветрелого слоя путем определения величины $K_{местн}$ в условиях избыточ-

ного увлажнения (возникающего, например, весной при оттаивании грунта, осенью и летом после затяжных или ливневых дождей) по формуле [14]

$$K_{мести} = B \left(\frac{\gamma_0 - 1}{\gamma_0} \cdot n \cdot tg\rho + \frac{AC}{\gamma_0 H} \right), \qquad (11)$$

где

$n = ctg\,\alpha$ – заложение откоса;

γ_0 – объемный вес выветрелого грунта, Т/м^3;

α – крутизна откоса, град;

ρ – угол внутреннего трения выветрелого слоя грунта, град;

C – сцепление этого же грунта, Т/м^2;

H – высота откоса, м;

A и B – безразмерные коэффициенты, определяемые в зависимости от отношения $\frac{h_p}{H}$ по специальным графикам в приложении 6;

h_p – глубина зоны возможного сплывообразования, принимается равной 0,4–0,8 м [14].[x]

4. ПРОЧНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СКАЛЬНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Перечень параметров

4.1. Основными параметрами при расчетах общей устойчивости откосов являются: ρ, $\rho_{тр}$, C, $C_м$, $C_{тр}$ (значения параметров см. в табл. 1).

4.2. Основными (дополнительно к указанным выше) параметрами при расчетах местной устойчивости легковыветривающихся скальных откосов являются:

J – интенсивность осыпания с 1 м^2 поверхности откоса различной крутизны, $\frac{м^3}{м^2\ год}$;

K_p – коэффициент разрыхления, принятый в среднем равным 1,50.

---

x Расчет производится в той же последовательности, как и для откосов в осыпных (рыхлых) грунтах в связи с указаниями п.3.3, а также [illegible] что при индивидуальном проектировании очертание откосов в породах IУ – У групп не следует делать круче 1:1,5 (см. [illegible])

4.3. Для получения численных значений сцепления С и угла внутреннего трения ρ легковыветривающихся скальных пород необходимо произвести соответствующие испытания образцов пород.

Эти испытания в основном сводятся или к сдвигу со сжатием в наклонных матрицах по методике ВНИМИ [I5], или же к раскалыванию пластин и раздавливанию образцов полуправильной формы, широко используемому в ИГД им.Скочинского [I6].

По результатам проведенных испытаний строится так называемый паспорт прочности породы – зависимость напряжения сдвига от напряжения сжатия (рис. 8). При использовании методики ВНИМИ паспорт прочности получается графоаналитическим путем[9,15]. При раскалывании пластин и раздавливании образцов полуправильной формы применяют расчетный прием построения огибающей к предельным кругам напряжений Мора, разработанный М.М. Протодьяконовым [I6, I7].

4.4. Значения C и ρ при наличии паспорта прочности точно определяют графически следующим построением [I7]:

из начала координат проводят два луча под углами 30^0 и 50^0 к оси τ (см.рис. 8);

через точки пересечения лучей с огибающей проводят секущую;

отрезок, отсекаемый секущей на оси τ, считая от начала координат, дает величину C, а угол, образуемый ею с горизонталью, – ρ

Для получения достаточно надежных расчетных значений указанных параметров такие определения целесообразно выполнять с необходимой повторностью (не менее чем с трехкратной) и осуществлять статистическую обработку полученных результатов.

4.5. Ориентировочные значения расчетных величин угла внутреннего трения в образцах, отобранных в массиве для некоторых легковыветривающихся пород и переслаивающих их литологических разностей, составляют, град.:

Аргиллиты ... 29 - 32

Алевролиты ... 31 - 33

Мергели
глинистые 30

Мергели
известковые ... 32

Песчаники 34-38

4.6. Приблизительное значение расчетных величин сцепления в образце можно определить двумя способами:

I) по выражению

$$C = \frac{\sigma_{сж}}{2} tg\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (12)$$

где

$\sigma_{сж}$ – сопротивление образцов на одноосное сжатие (с соотношением высоты к ширине, равным 1,5 ÷ 2:1);

2) по графику на рис. 9, на котором значение С берется в зависимости от относительной механической прочности, определяемой по динамическому пробнику, краткое описание и способ пользования которым приведены в приложении 7.

Определение $\varphi_{тр}$ и $C_{тр}$

4.7. Значения $\varphi_{тр}$ при отсутствии заполнителя по контактам поверхностей ослабления назначаются по таблице приложения 8 в зависимости от характера поверхностей ослабления. При возможности обводнения поверхностей контактов указанные в этой таблице значения $\varphi_{тр}$ уменьшаются на $2 - 4^{0}$.

4.8. При наличии заполнителя трещин расчетные значения $\varphi_{тр}$ принимаются по графику на рис. 10 в зависимости от влажности заполнителя и шероховатости стенок поверхностей ослабления.

4.9. Расчетные значения $C_{тр}$ при отсутствии заполнителя назначаются по таблице приложения 9. При наличии заполнителя расчетные значения $C_{тр}$ определяются по графику на рис. 11 в зависимости от влажности и характера заполнителя.

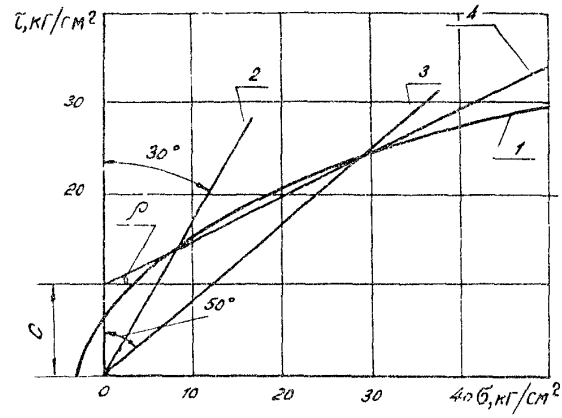


Рис. 8. Пример построения для получения значений C и ρ в образце:

I – паспорт прочности (огибающая к кругам Мора)

2 – луч под углом 30° к оси τ ;

3 – луч под углом 50° к оси τ ;

4 – секущая, проведенная через точки пересечения лучей с огибающей

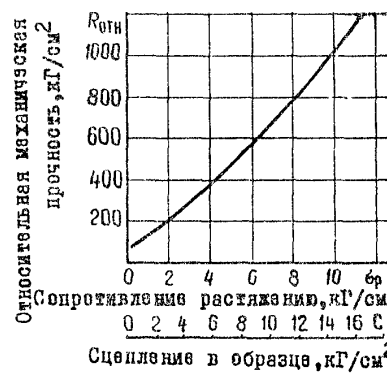


Рис. 9 Корреляционная зависимость $R_{отн.}$ от C (по данным ЦНИИСа)

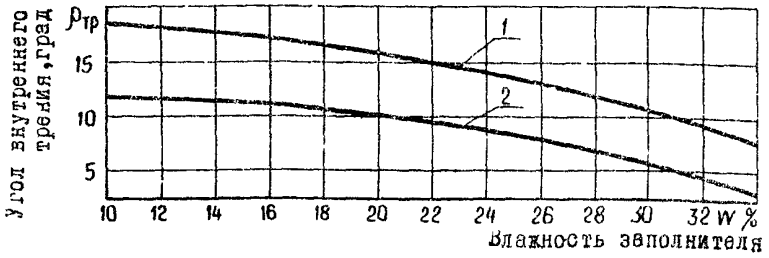


Рис. 10. Зависимость угла внутреннего трения по контактам поверхностей ослабления $\rho_{тр}$ от влажности заполнителя:

1 – поверхности ослабления шероховатые;

2 – поверхности ослабления гладкие

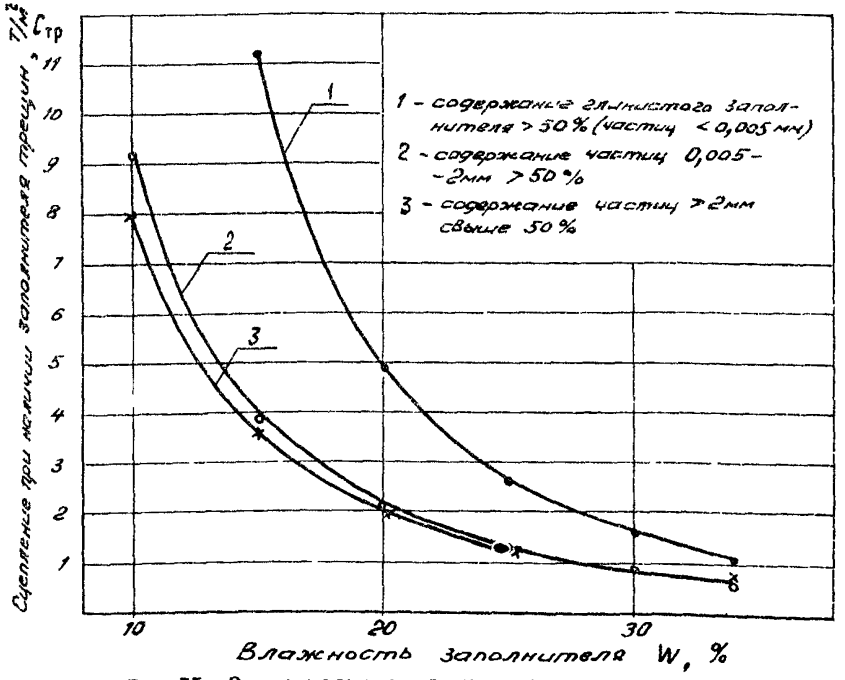


Рис.11. Зависимость сцепления по контактам поверхностей ослабления $C_{тр}$ при наличии заполнителя трещин от влажности заполнителя

4.IO. При отсутствии сведений о заполнителе трещин, его влажности и шероховатости стенок поверхностей ослабления принимается наиболее неблагоприятное из реально возможных сочетаний расчетных параметров $\varphi_{тр}$ и $C_{тр}$ (т.е. поверхности считаются гладкими, допускается наличие заполнителя, учитывается возможность его увлажнения).

Угол внутреннего трения и сцепление в массиве

4.II. Значения угла внутреннего трения в массиве (при направлении поверхностей обрушения поперек к поверхностям ослабления) принимаются равными значениям угла внутреннего трения в образце, т.е. $\varphi_м = \varphi$.

4.I2. Сцепление в массиве $C_м$ рекомендуется определять по формуле[I]

$$C_м = C_{тр} + \frac{C - C_{тр}}{1 + a\ln\left(\frac{H}{\ell}\right)}, \qquad (I3)$$

где

C – сцепление в образце, $Т/м^2$;

H – проектная высота откоса, м;

a – коэффициент, определяемый по графику на рис.I2 в зависимости от C[x];

$C_{тр}$ – сцепление по контактам поверхностей ослабления, $Т/м^2$;

ℓ – осредненная блочность пород в массиве, м

$$\ell = \frac{1}{W}, \qquad (I4)$$

где $$W = \frac{1}{n}\left(\frac{1}{\ell_1} + \frac{1}{\ell_2} + \cdots + \frac{1}{\ell_n}\right), \qquad (I5)$$

$\ell_1, \ell_2 \ldots \ell_n$ – средние расстояния между трещинами первой, второй и $n^{й}$ систем, м.

I $C_м$ целесообразно определять посредством опытных сдвигов в натурных условиях по имеющимся методикам [I8,I9].

x График зависимости $a = f(C)$ построен по материалам полевых исследований ЦНИИСа и соответствует последним данным ВНИМИ.

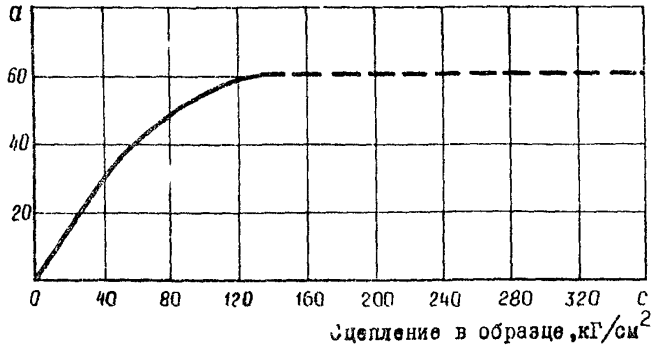


Рис. I2. Зависимость коэффициента a от величины сцепления в образце (по данным ЦНИИСа)

Размер и форма элементарных структурных блоков определяются обычно тремя наиболее характерными системами трещин.

Некоторые особенности выбора расчетных параметров скальных пород

4.I3. Очень различные литологические разности легковыветривающихся пород встречаются во всевозможных сочетаниях между собой и с перекрывающими их более прочными и устойчивыми к выветриванию породами. В связи с этим при расчетах по схемам I, IУ, У, IX, X, XI, в которых поверхность обрушения на каком-либо участке пересекает крест поверхности ослабления, параметры принимаются или по наиболее слабым разновидностям пересекаемых пород (в запас безопасности), или средневзвешенными по мощности пересекаемых литологических разностей (что более правильно, но требует тщательных инженерно-геологических исследований).

4.I4. При определении величины сдвиговых параметров для расчетов по схеме XI (используемой для пород IУ-У групп) необходимо учитывать возможность избыточного увлажнения грунта выветрелой зоны, мощность которой определяется в

соответствии с указаниями п.3.9. При выборе расчетных значений ρ и C следует использовать результаты сдвиговых испытаний паст, приготовлен их из рассматриваемых пород. В этом случае $\rho = \varphi$ - углу внутреннего трения рыхлых грунтов.

4.15. При расчетах по схеме УП сопротивление на разрыв по трещинам σ_p обычно принимается равным нулю (в запас устойчивости).

4.16. Объемный вес пород γ_o определяют по справочникам [20] или по данным лабораторных определений согласно выражению

$$\gamma_o = \frac{p}{W},$$

где

p - вес образца, г;

W - объем образца, $см^3$.

При этом объем образцов неправильной формы может быть определен измерением объема вытесненной воды при погружении в нее образца. Перед погружением в воду образцы неводостойких пород следует покрывать тонкой водонепроницаемой пленкой (например, клеем БФ и т.п.).

5. ВОЗМОЖНЫЕ ТИПОВЫЕ И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

Общие принципы проектирования откосов

5.1. При установлении рациональных очертаний откосов выемок можно исходить из двух основных принципов:

1) обеспечения общей и местной устойчивости;

2) обеспечения общей устойчивости с одновременным, частичным допущением осыпей, вызванных нарушением местной устойчивости (при соответствующем технико-экономическом обосновании целесообразности такого решения, методика осуществления которого приведена в приложении 2).

5.2. Возможны следующие конструктивные решения, применительно к типовому и индивидуальному проектированию:

пологие откосы крутизной, равной углу естественного откоса образующихся на них продуктов выветривания (I:I,25-I:I,5) с кюветом, закюветной полкой или кювет-траншеей;

крутые откосы (в пределах I:0,5 - I:I) с кювет-траншеей для сбора продуктов выветривания, поступающих с откоса, или с улавливающей стеной, выполняющей те же функции;

крутые откосы с кюветом или лотком при защите откосов от выветривания какими-либо покрытиями;

крутые откосы (вплоть до вертикальных) с широкими полками, рассчитанными на размещение продуктов выветривания в процессе всего периода существования откоса до его самоуположения на всю высоту;

комбинированные конструктивные решения:

откосы ломаного очертания (выпуклого или вогнутого - в зависимости от состава пород и их расположения по высоте откоса);

защищенные от выветривания участки по высоте и длине откосов, чередующиеся с неукрепленными, и др.

5.3. Выбор конструкции откоса определяется степенью общей и местной устойчивости слагающих его пород, высотой проектируемого откоса и технико-экономическими показателями.

Типовое проектирование

5.4. Сферы типового проектирования для различных групп пород, с указанием конструктивных особенностей типовых решений, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Группа пород по степени устойчивости к выветриванию	Условия применения типового проектирования	Конструктивные особенности типовых решений
У - IУ	Благоприятное расположение поверхностей ослабления. Высота Н не свыше I2м	Крутизна откоса I:I,5. Откосы укрепляются травосеянием по слою растительного грунта. При высоте откоса $H \leq 6$м у подошвы его устраивается кювет и закюветная полка шириной I м. При $6 < H \leq 12$м у подошвы откоса устраивается кювет-траншея шириной понизу 3 м, глубиной 0,6 м, с откосами I:I,5
Ш - П	Благоприятное расположение поверхностей ослабления. Высота откоса Н не свыше I6 м	Крутизна откоса I:I,25. При высоте откоса $H \leq 6$м у подошвы его устраивается кювет и закюветная полка шириной Iм. При $6 < H \leq 16$м у подошвы откоса устраивается кювет-траншея шириной понизу 3 м, глубиной I,Iм, с откосами I:I,25
I	Такие же, как для пород Ш - П групп	Крутизна откоса I:0,5-I:I. У подошвы откоса устраивается кювет-траншея шириной понизу не менее 3 м, глубиной I,Iм с откосами: со стороны пути I:I; с противоположной стороны-равными крутизне откоса выемки

Примечание. В элювиально-делювиальном слое заложение откосов во всех типовых конструкциях принимается не круче I:I,5.

5.5. Область индивидуального проектирования охватывает все сочетания инженерно-геологических и проектных условий, выходящие за рамки типового проектирования (неблагоприятное расположение поверхностей ослабления, высота откосов более 12-16м, наличие обводнения и др.).

5.6. При индивидуальном проектировании очертание откосов определяют, исходя из необходимости обеспечения их общей устойчивости, и уточняют на основании оценки местной устойчивости - для возможности выбора оптимальной в технико-экономическом отношении конфигурации их (в соответствии с приложением 2). Для пород У-IУ групп очертание откосов не следует назначать круче I:I,5.

5.7. При индивидуальном проектировании выемок следует учитывать, что по технико-экономическим показателям предпочтительнее других конструктивных решений могут быть:

крутые откосы (вплоть до вертикальных) с уширенными полками, рассчитанными на размещение продуктов выветривания при самоуположении откосов, - для выемок высотой 6-8 м и полувыемок на косогорах не круче I:2;

крутые откосы с траншеями у подошвы - для прорезных выемок большой глубины и полувыемок на крутых косогорах;

крутые откосы, укрепленные защитными покрытиями, - для полувыемок на косогорах при значительной стоимости разработки скальных пород.

6. ХАРАКТЕР И ОБЪЕМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

6.I. Полный комплекс инженерно-геологических обследований, необходимых для оценки общей и местной устойчивости откосов выемок в легковыветривающихся скальных породах, включает в себя определение следующих показателей:

наименования пород, их размещения и процентного содержания в пределах проектируемого откоса;

ориентации поверхностей ослабления;

генезиса поверхностей ослабления;

качественной характеристики трещиноватости (характера заполнения трещин, степени шероховатости стенок, обводнения, изменчивости трещин в зависимости от пересечения различных литологических разностей, протяженности и выдержанности направлений трещин);

количественной оценки трещиноватости (числа трещин каждой системы, приходящихся на I пог.м в направлении, перпендикулярном плоскости трещин, определение блочности по формуле (I5);

объемного веса γ_o ;

сопротивления одноосному сжатию $\sigma_{сж}$;

сцепления и угла внутреннего трения в монолите (образце) C и ρ ;

сцепления с учетом структурного ослабления в массиве $C_м$;

сцепления и угла внутреннего трения по контактам поверхностей ослабления $C_{тр}$ и $\rho_{тр}$;

отношения к переменному высушиванию и увлажнению.

Методы осуществления различных видов инженерно-геологических обследований приведены в соответствующих пособиях и методических указаниях [2I, 22, 23].

Сведения о способах определения механических характеристик даны также в разделе 4 настоящей работы.

6.2. Объем инженерно-геологических обследований применительно к конкретным расчетным схемам может быть значительно сокращен по сравнению с полным комплексом, приведенным в п.6.I.

Перечень необходимых определений из указанного комплекса при различных расчетных схемах общей устойчивости (с учетом необходимости оценки местной устойчивости) приведен в табл.3.

6.3. Некоторые инженерно-геологические характеристики можно уточнять в процессе разработки выемок. Если при этом выявится несоответствие первоначально принятым условиям, то необходима дополнительная проверка устойчивости откосов и корректировка проектных решений.

Таблица 8

Расчетные схемы и предварительные условия	Перечень необходимых определений: Наименование пород и их содержание в откосе, %	γ_o	$\sigma_{сж}$	Ориентация трещин в пространстве, их генезис и качественная оценка	Количественная оценка трещин	c	ρ	$c_м$	$c_{тр}$	$\rho_{тр}$	Отношение к переменному высушиванию и увлажнению
Схема I											
$\sigma_{сж} \geqslant 400$ кГ/см^2	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–	+
$\sigma_{сж} < 400$ кГ/см^2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+
Схема II	+	+	–	+	+	–	–	–	+	+	+
Схема III	+	+	–	+	+	–	–	–	+	+	+
Схема IУ											
$\sigma_{сж} \geqslant 400$кГ/см^2	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–	+
$\sigma_{сж} < 400$кГ/см^2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+
Схема У											
$\sigma_{сж} \geqslant 400$ кГ/см^2	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–	+
$\sigma_{сж} < 400$ кГ/см^2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+
Схема УI	+	+	–	+	+	–	–	–	+	+	+
Схема УII	+	+	–	+	+	–	–	–	+	+	+
Схема УIII	+	+	–	+	+	–	–	–	+	+	+
Схема IX											
$\sigma_{сж} \geqslant 400$ кГ/см^2	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–	+
$\sigma_{сж} < 400$ кГ/см^2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+
Схема X											
$\sigma_{сж} \geqslant 400$ кГ/см^2	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–	+
$\sigma_{сж} < 400$ кГ/см^2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+
Схема XI	+	+	–	+	+	–	–	–	+	+	+
Схема XII	+	+	+	–	–	+	+	+	+	–	+
Схема XIII	+	+	–	–	–	+	+	–	–	–	+

Примечания. 1. Знак "+" показывает необходимость выполнения определений, а знак "минус" – отсутствие такой необходимости.

2. При $\sigma_{сж} \geqslant 400$ кГ/см^2 (что соответствует примерно $C \geqslant 100$ кГ/см^2) при благоприятном расположении поверхностей ослабления откосы устойчивы при $P \leqslant 60$ м.

Приложение I

МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ ПОРОД ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ К ВЫВЕТРИВАНИЮ

Отбор образцов

Из участков массива, прорезаемого откосом выемки (проектируемой или существующей), отбирают образцы пород произвольной формы весом от 100 до 300 г каждый.

Образцы отбирают из подошвенной, средней и верхней частей откоса в количестве не менее трех по каждому из поперечников (при наличии однородного сложения толщи). Расстояние между поперечниками, в случае выдержанности элементов залегания пород, принимается равным 150–200 м. При изменчивости и невыдержанности элементов залегания расстояние между поперечниками уменьшается до 25–50 м.

В случае переслаивания различных пород по высоте проектируемого откоса образцы отбирают из каждой литологической разности.

Отбор образцов осуществляется из кернов или из обнажения пород.

Испытание образцов

При испытании отобранных образцов на высушивание–увлажнение их ставят в фарфоровых или стеклянных чашках в сушильный шкаф и выдерживают при температуре 105°С примерно 7–8 ч. Затем их вынимают из шкафа, взвешивают и заливают водой, в которой выдерживают не менее 7–8 ч.

После слива воды через фильтр (чтобы задержать мелкие частицы) образцы вновь ставят в сушильный шкаф[1]. Далее процесс (цикл) повторяется.

---

1 При отсутствии сушильного шкафа процесс высушивания при испытании можно осуществлять в лабораторных условиях (при комнатной температуре). При этом целесообразно увлажненную породу рассыпать на бумагу или металлический лист и т.п.), что ускоряет просушивание. Длительность процесса высушивания в этом случае составляет не менее 15 ч.

После определенного числа циклов (3 – 5) следует производить просев образцов через сито с ячейками 10мм (с водой или в сухом состоянии). Проведшие через сито частицы высушивают (в случае просеивания с водой) и взвешивают с точностью до 0,01 г.

Затем вычисляют потерю в весе исследуемого образца, которая равняется отношению веса частиц, проведших через сито с ячейками 10 мм, к первоначальному весу образца (в процентах). Общее количество циклов испытаний определяется степенью устойчивости исследуемой породы к высушиванию-увлажнению. При неустойчивых породах достаточно ограничиться несколькими циклами, чтобы получить потери образцов в весе, достигающие 100%. В устойчивых породах потери в весе, равной 100%, может вообще не наступить, поэтому в этих случаях испытания можно ограничить 30–40 циклами.

Обработка результатов

По потере образцов в весе, в зависимости от количества циклов высушивания-увлажнения, строится график в координатах $Q = f(n)$,

где Q – потеря образцов в весе, %;

n – количество циклов высушивания и увлажнения.

Полученная зависимость сопоставляется (совмещается) с графиком, приведенном на рис.I настоящих методических указаний; определяется группа пород по степени устойчивости к выветриванию. При этом необходимо определить также положение полученной зависимости по отношению к линии средних значений потерь в весе рассматриваемой группы по соотношению

$$\frac{N_\Phi}{N_i^{cp}} = \frac{n_{i\,100}^{cp} \pm \frac{\sum_1^K (n_{\Phi K} - n_{iK}^{cp})\; n_{iK}^{cp}}{\sum_1^h n_{iK}^{cp}}}{n_{i\,100}^{cp}}, \qquad (1)$$

где $n^{ср}_{i\,100}$ – количество циклов, соответствующее 100% потерь для линии средних значений группы. Применительно к I и II группам пород по рис. I в разделе I вместо $n^{ср}_{i\,100}$ принимается количество циклов, соответствующее наибольшему значению потерь, показанному на графике;

$n_{фк}$ – количество циклов высушивания и увлажнения, при которых зафиксирован определенный процент потерь в весе исследуемого образца;

$n^{ср}_{ik}$ – количество циклов высушивания и увлажнения, соответствующее тому же проценту потерь в весе для линии средних значений в группе i (см.рис.I в разделе I);

k – количество сравниваемых значений процентов потерь в весе образца (Q_{ik}).

Пример

В результате проведения опытов на высушивание и увлажнение с какой-либо породой получена следующая зависимость: $Q = f(n)$

$n_{фк}$	4	8	I2	I6	20	24
Q_{ik}	5	I0	40	60	70	80

После сопоставления этой зависимости с графиком на рис.I можно заключить, что исследуемая порода относится к III группе. Полученным из опыта значениям процентов потерь в весе сответствует следующее количество циклов $n^{ср}_{IIIк}$ по линии средних значений $Q_{IIIк}$

$n^{ср}_{IIIк}$	3	6	I3,5	I6,3	I7,6	I9,2
$Q_{IIIк}$	5	I0	40	60	70	80

По указанной выше формуле (I) находим отношение $\frac{N_ф}{N^{ср}_{III}}$ В рассматриваемом примере $K = 6$ (шесть сравниваемых величин процентов потерь породы в весе при просеивании через сито I0 мм: 5, I0, 40, 60, 70, 80%; $n^{ср}_{III\,100} = 22$ цикла

$$\frac{N_ф}{N^{ср}_{III}} = \frac{22 + \frac{(14-3)/3 + (8-6)/6 + (12-13,5)/13,5 + (16-16,3)/16,3 + (20-17,6)/17,6 + (24-19,2)/19,2}{3+6+13,5+16,3+17,6+19,2}}{22} =$$

$$= \frac{22 + \frac{124,1}{75,6}}{22} = \frac{22 + 1,65}{22} = \frac{23.65}{22} = 1,08.$$

Второй член числителя в формуле для определения $\frac{N_\Phi}{N^{cp}_{\text{ш}}}$ (в нашем примере он равен +I,65) показывает, на сколько сместится экспериментальная зависимость $Q = f(n)$ от линии средних значений. В рассматриваемом случае она смещается правее линии средних значений $Q_{\text{ш}}$. При этом сдвиг вправо составит в среднем I,65 цикла (т.е. I,65n) в каждой сравниваемой точке, что можно использовать при нанесении осредненного очертания полученной опытным путем зависимости $Q = f(n)$. Если бы этот член получился отрицательным, то осредненное очертание экспериментальной зависимости сместилось бы левее линии средних значений $Q_{\text{ш}}$ на соответствующую величину циклов. Таким образом, если $\frac{N_\Phi}{N^{cp}_{\text{ш}}} > 1$, то экспериментальная зависимость пройдет правее от линии средних значений, если $\frac{N_\Phi}{N^{cp}_{\text{ш}}} < 1$ – то левее; при $\frac{N_\Phi}{N^{cp}_{\text{ш}}} = 1$ экспериментальная зависимость совпадает с линией средних значений.

Для определения интенсивности осыпания следует $J_{\text{ш}}$ (см.рис.2) разделить на полученное соотношение, т.е. умножить на отношение $\frac{N^{cp}_{\text{ш}}}{N_\Phi} = \frac{I}{I,08} = 0,925$.

Аналогичным образом это соотношение используется при определении мощности коры выветривания (применительно к $m_{\text{ш}}$ на рис. 3).

Приложение 2

МЕТОДИКА НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ ОТКОСОВ ВЫЕМОК

При назначении оптимальных в технико-экономическом отношении очертаний откосов следует исходить из условий обеспечения их общей устойчивости и такого сочетания строительных и эксплуатационных расходов, которые они (с учетом отдаленности затрат) были минимальными.

Чем круче запроектированы откосы (при обязательности сохранения их общей устойчивости), тем меньше строительная стоимость разработки выемки, но тем больше затраты, связанные с необходимостью уборки осыпающихся продуктов выветривания в процессе эксплуатации.

Для возможности сопоставления суммарных строительных и эксплуатационных затрат в рассматриваемых вариантах с учетом отдаленности во времени рекомендуется сравнивать так называемые приведенные расходы, определяемые по формуле [24]

$$\Sigma_{пр} = \sum_{0}^{t_c} \frac{K_t}{(1+E_{нп})^t} + \sum_{1}^{t_c} \frac{Э_t}{(1+E_{нп})^t} , \qquad (1)$$

где $\Sigma_{пр}$ – приведенные суммарные строительные и эксплуатационные расходы;

K_t и $Э_t$ – соответственно капиталовложения и эксплуатационные расходы в соответствующем году t;

$\frac{1}{(1+E_{нп})^t}$ – коэффициент приведения (отдаленности), учитывающий уменьшение значимости затрат, совершаемых через t лет;

t_c – год, ограничивающий период суммирования расходов по рассматриваемым вариантам;

$E_{нп}$ – норматив для приведения разновременных затрат, установленный в размере 0,08 [25]

В общую сумму затрат по указанной формуле включаются и первоначальные капиталовложения (как затраты первого

этапа), условно относимые к нулевому году эксплуатации, т.е. принимаемые с коэффициентом приведения, равным I.

При рассмотрении приведенных расходов применительно к скальным выемкам под капитальными затратами понимается строительная стоимость сооружения I пог.м продольной длины выемки, а эксплуатационные расходы складываются из стоимости уборки осыпающихся продуктов выветривания с I пог.м длины откосов (вдоль выемки).

Период суммирования приведенных затрат ограничивается двадцатью годами. При этом интенсивность осыпания продуктов выветривания с откосов заданной крутизны и интенсивность отступания бровки откосов выемки (степень уположения откосов во времени) подсчитывают при сравнении вариантов в соответствии с рекомендациями, изложенными в разделе 3.

По указанной методике производится сравнение различных конструктивных вариантов (в том числе откосов, защищенных от выветривания различными покрытиями, откосов с уширенными полками, рассчитанными на самоуположение их и размещение продуктов выветривания в процессе эксплуатации и др.).

Приложение 3

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ВЫЕМОК

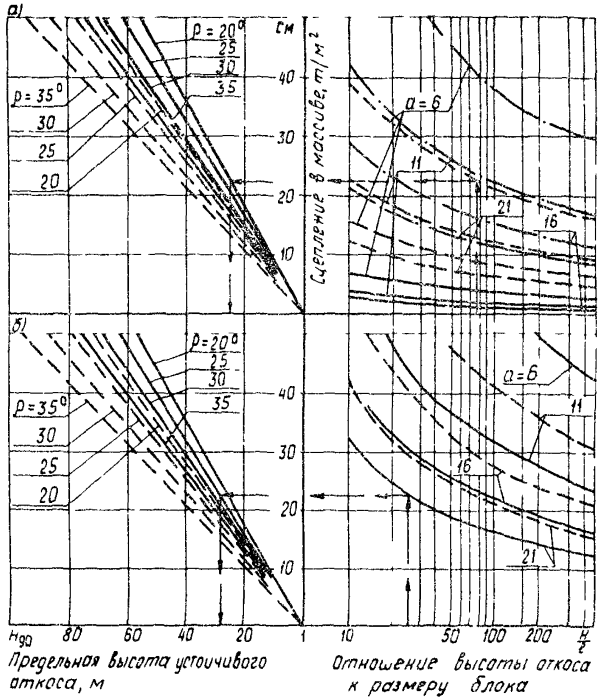


Рис.I. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого вертикального откоса при благоприятном расположении поверхностей ослабления (расчетная схема I):

а ——— C = 100Т/м²; — — — C = 600Т/м²; —·— C = 1100Т/м²;

б – ——— – C = 1600Т/м²; – – – – C = 2100Т/м²;

——— – $\gamma_{об}$ = 2,5 Т/м³; – – – – $\gamma_{об}$ = 2,0 Т/м³

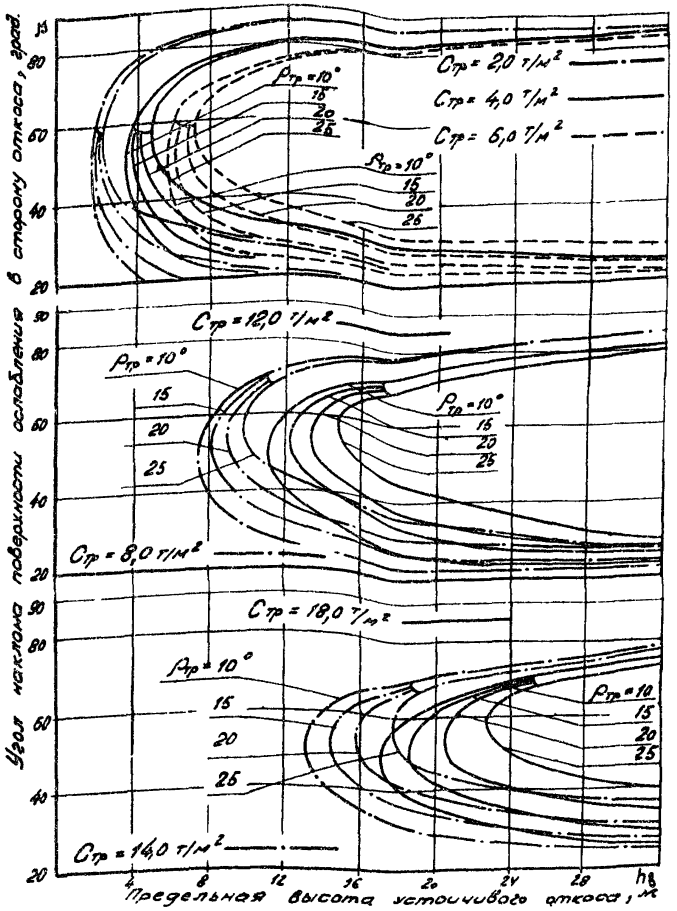


Рис. 2. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого вертикального откоса при неблагоприятном расположении поверхностей ослабления /расчетная схема II/

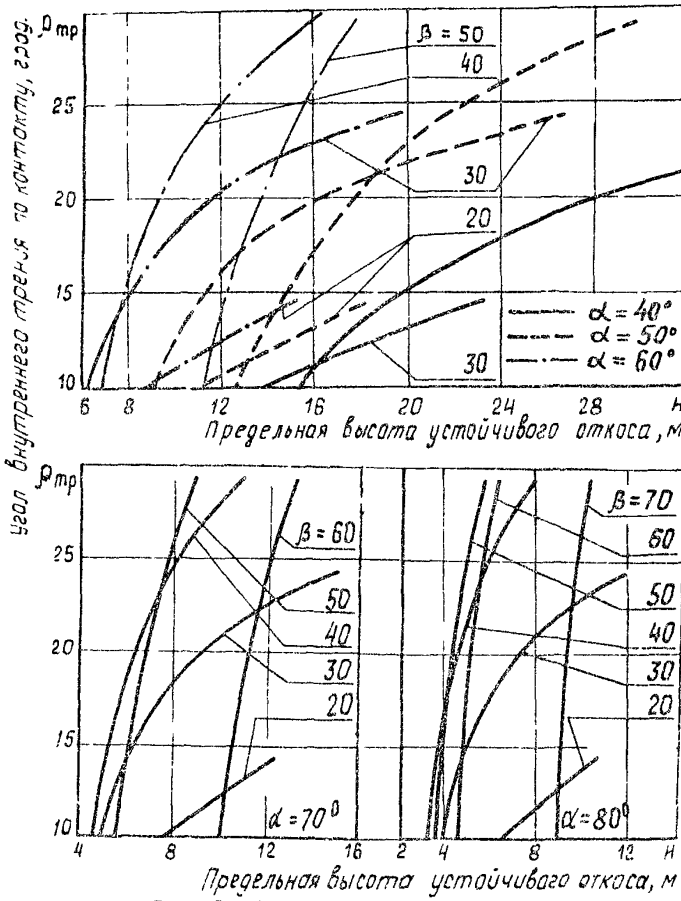


Рис. 3. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса различной крутизны при неблагоприятном расположении поверхностей ослабления расчетная схема Ш/:

$_{тр}$ = 2 Т/м^2; γ_0 = 2,5 Т/м^3

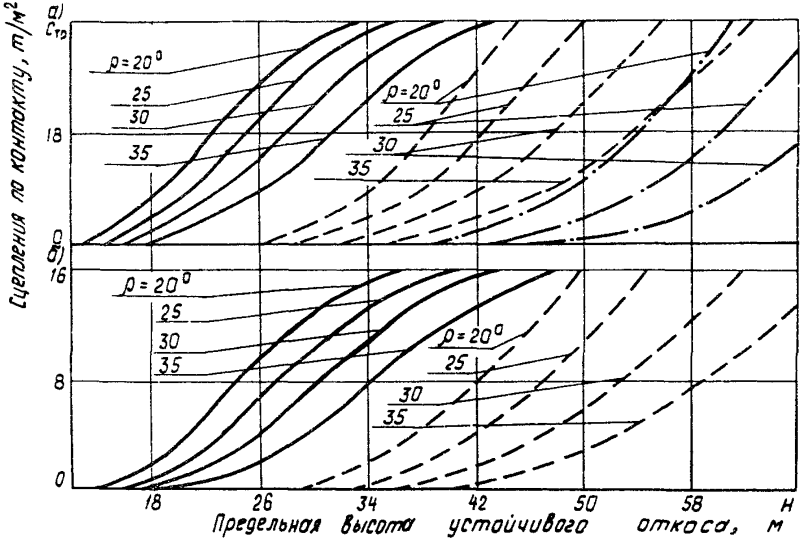


Рис.4. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса при неблагоприятном расположении поверхностей ослабления и совпадении их с откосом (для некоторых расчетных сочетаний)
/расчетная схема IУ/:
——— – $C_м$ = 10 Т/м²; – – – – – $C_м$ = 20 Т/м²; – · – · – $C_м$ = 30 Т/м²;
а – β = 50°; $\rho_{тр}$ = 10°; $\gamma_о$ = 2,5 Т/м³;
б – β = 50°; $\rho_{тр}$ = 15°; $\gamma_о$ = 2,5 Т/м³

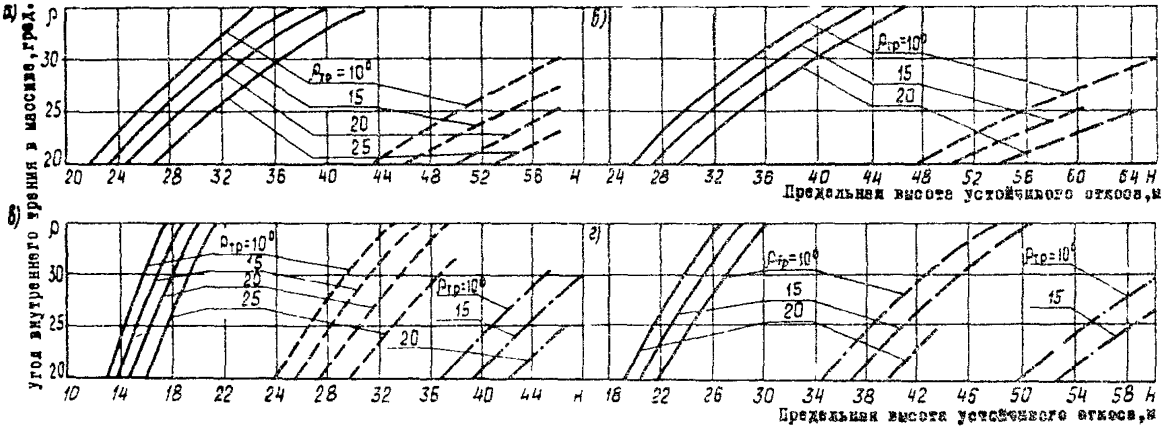


Рис. 5. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса при неблагоприятном расположении поверхностей ослабления и при откосе более пологом, чем плоскости ослабления (для некоторых расчетных сочетаний) /расчетная схема У/:

$C_м$ = 10 Т/м^2; – – – – $C_м$ = 20 Т/м^2; – · – · $C_м$ = 30 Т/м^2;

а – $\beta = 60^0$; $C_{тр} = 0$; $\alpha = 50^0$; $\gamma_0 = 2{,}5$ Т/м^2;
б – $\beta = 60^0$; $C_{тр} = 4$ Т/м^2; $\alpha = 50^0$; $\gamma_0 = 2{,}5$ Т/м^2;
в – $\beta = 60^0$; $C_{тр} = 0$; $\alpha = 60^0$; $\gamma_0 = 2{,}5$ Т/м^2;
г – $\beta = 60^0$; $C_{тр} = 4$ Т/м^2; $\alpha = 60^0$; $\gamma_0 = 2{,}5$ Т/м^2

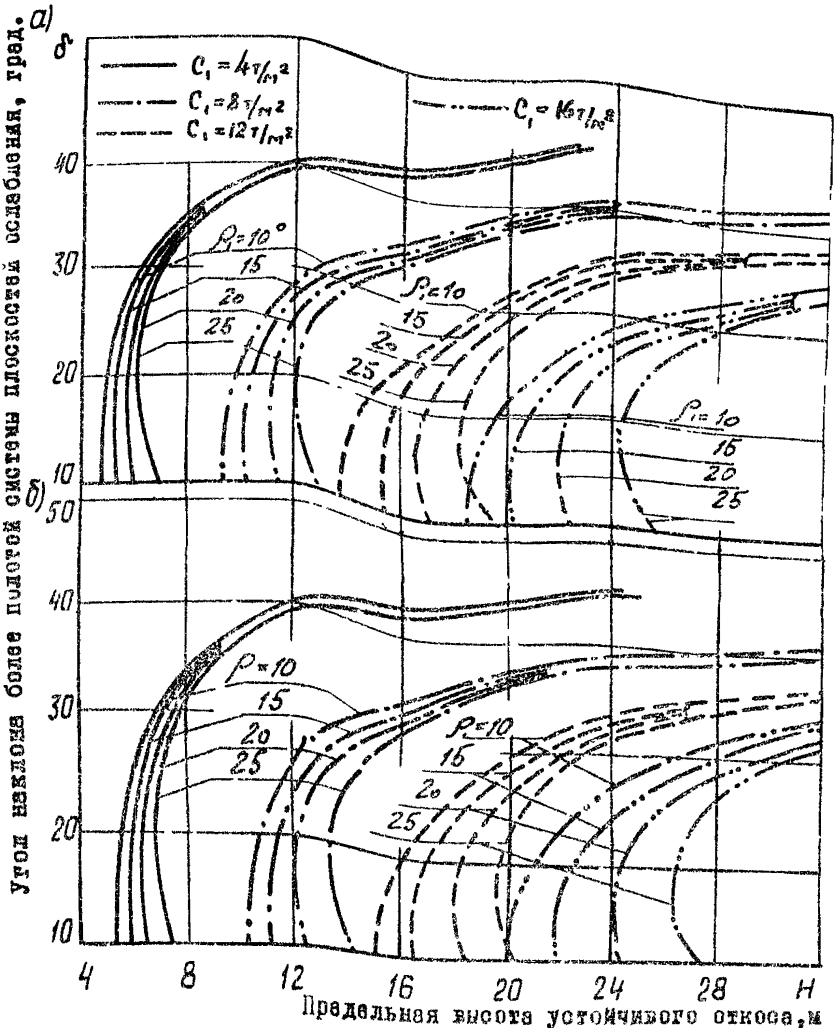


Рис. 6. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, падающих в сторону откоса под различными углами, одна из которых совпадает с откосом (для некоторых расчетных сочетаний) /расчетная схема УI/:

а – $\beta = 50^0$; $\varphi_{тр} = 10^0$; $C_{тр} = 0$; $\gamma_0 = 2{,}5$ Т/м^3

б – $\beta = 50^0$; $\varphi_{тр} = 15^0$; $C_{тр} = 0$; $\gamma_0 = 2{,}5$ Т/м^3

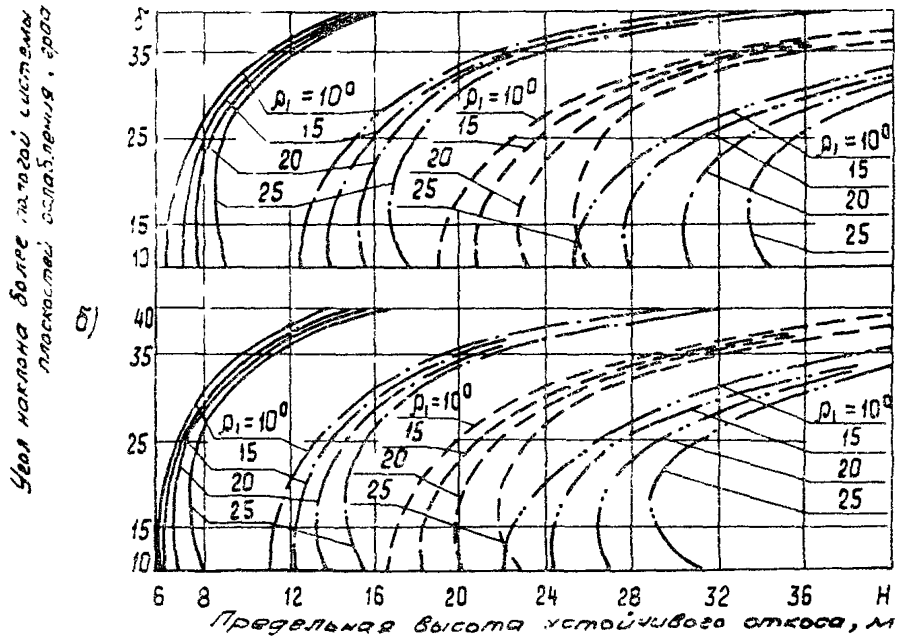


Рис. 7. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, падающих в сторону откоса под различными углами, одна из которых совпадает с откосом (для некоторых расчетных сочетаний) /расчетная схема УI/:

а – $\beta = 50^0$; $\rho_{тр} = 25^0$; $C_{тр} = 0$; $\gamma_0 = 2{,}5$ т/м^3;

б – $\beta = 50^0$; $\rho_{тр} = 20^0$; $C_{тр} = 0$; $\gamma_0 = 2{,}5$ т/м^3

—— $C_1 = 4$ т/м^2 ; — · — $C_1 = 8$ т/м^2 ; — — — $C_1 = 12$ т/м^2 ; —— · —— $C_1 = 16$ т/м^2

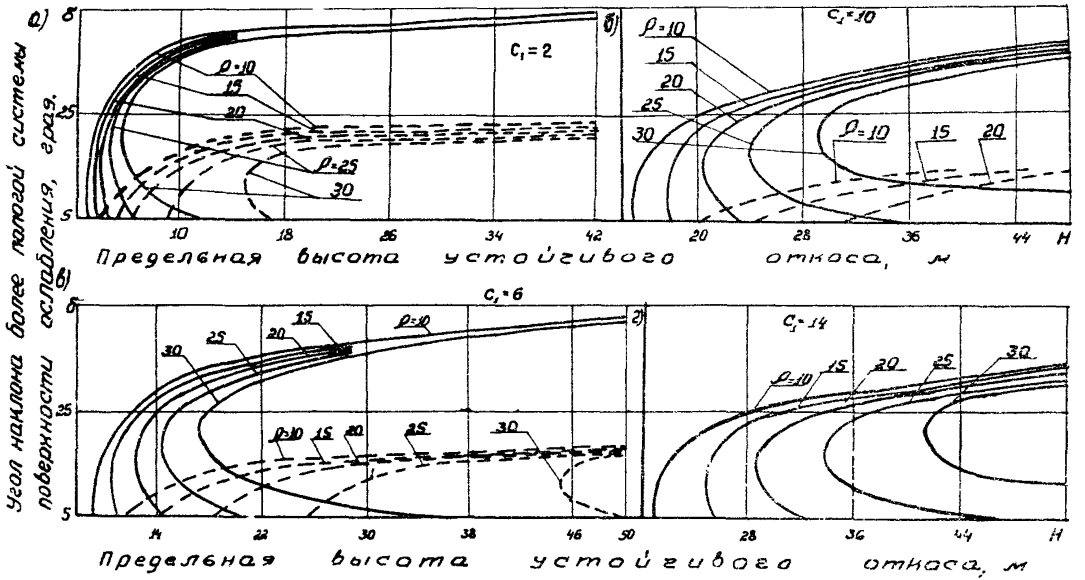


Рис. 8. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса (для некоторых расчетных сочетаний) при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, падающих в строну откоса под различными углами β и δ и несовпадающих с углом откоса α ; $\beta > \alpha > \delta$ /расчетная схема УП/:

$\beta = 60^0$; $C_{тр} = 0$; $\rho_{тр} = 10^0$; а – $C_I = 2$; б – $C_I = 6$; в – $C_I = 10$; г – $C_I = 14$ Т/м2;
——— $\alpha = 50^0$; – – – – $\alpha = 30^0$

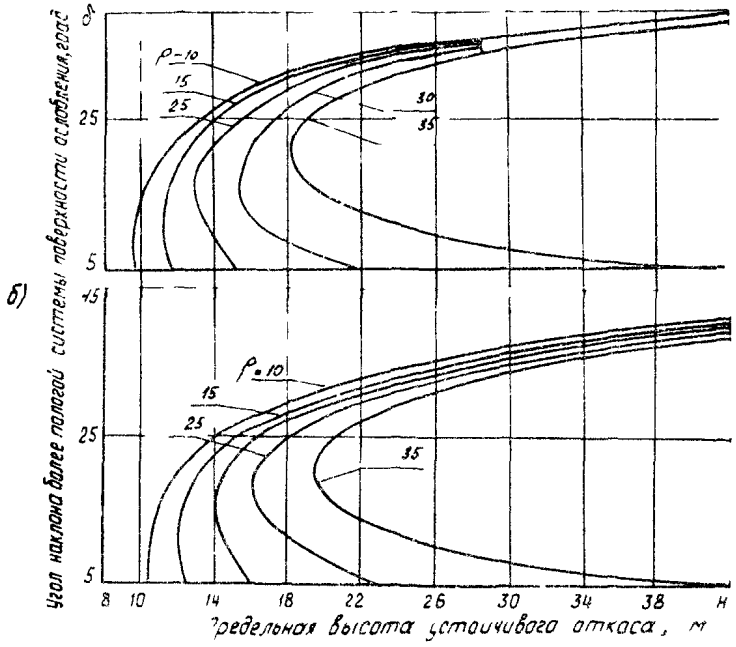


Рис. 9. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса (для некоторых расчетных сочетаний) при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, падающих в сторону откоса под углами различными β и δ и несовпадающих с углом откоса α $\beta > \alpha > \delta$. /расчетная схема УП/:

а - $\beta = 60^0$; $C_{тр} = 0$; $\rho_{тр} = 15^0$;

б - $\beta = 60^0$; $C_{тр} = 0$; $\rho_{тр} = 20^0$;

$C_I = 6$ Т/м^2; $\alpha = 50^0$

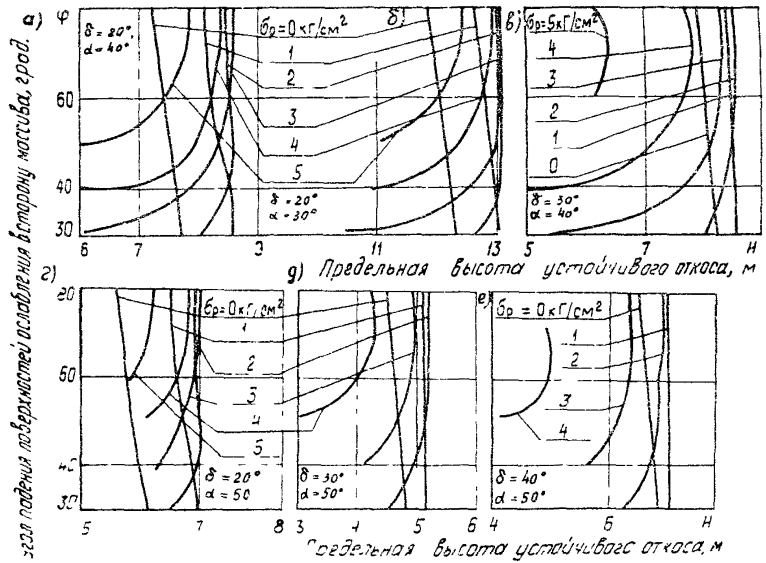


Рис. 10. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса с углом наклона δ при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, одна из которых имеет падение в сторону выемки под углом δ' ($\delta' < \alpha$), а другая - в сторону массива под углом φ (для некоторых расчетных сочетаний) /расчетная схема УШ/

$\rho_{тр} = 100$; $C_{тр} = 1$ Т/м²; $\gamma = 2{,}5$ Т/м³

а) $\alpha = 20°$ б) $\delta = 20°$, $\alpha = 30°$; в) $\delta = 30°$, $\alpha = 40°$; г) $\delta = 20°$; $\alpha = 50°$; д) $\delta = 30°$; $\alpha = 50°$; е) $\delta = 40°$; $\alpha = 50°$.

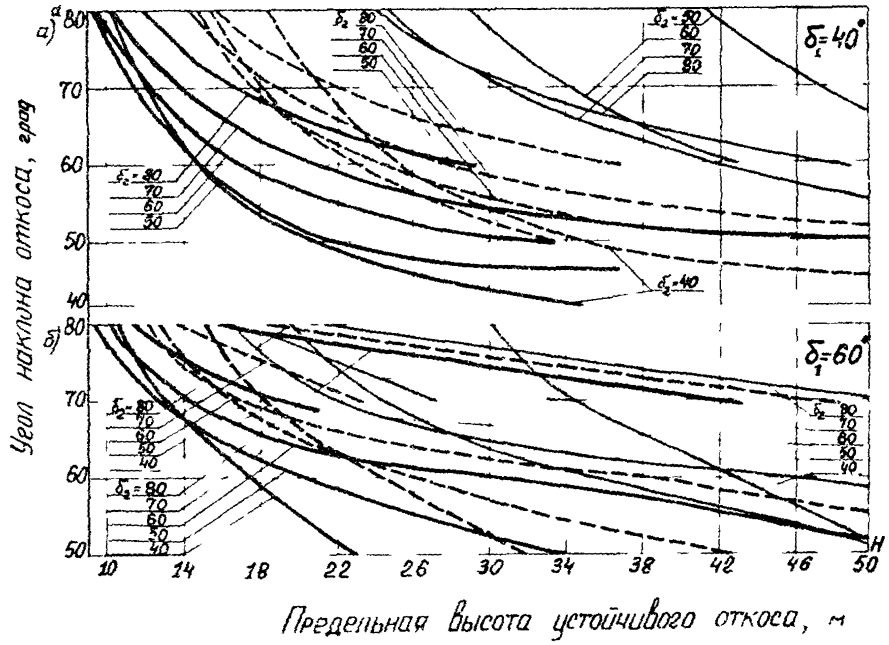


Рис. II. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса, при расчетной схеме, учитывающей объемное расположение поверхностей ослабления (для некоторых расчетных сочетаний) /расчетная схема XI/:

а – $C_{тр}$ = 2 Т/м^2; γ_0 = 2,5 Т/м^3; — β = 0°; A_0=90°; A_I=130°; A_2=50°
б – $C_{тр}$ = 2 Т/м^2; γ_0 = 2,5 Т/м^3; --- β = 15°; A_0=90°; A_I=130°; A_2=50°
в – $C_{тр}$ = 2 Т/м^2; γ_0 = 2,5 Т/м^3; — β = 30°; A_0=90°; A_I=130°; A_2=50°

Приложение 4

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПО СХЕМЕ IX[X]

В данной расчетной схеме массив принимается макрооднородным (квазиизотропным), а расчетная поверхность обрушения – круглоцилиндрической с вертикальным верхним участком высотой H_{90}, в пределах которого считается, что порода работает на разрыв. Сопротивление разрыву скальной породы в массиве в запас безопасности принимается равным нулю.

Положение наиболее опасной поверхности обрушения для заданной конфигурации откоса, т.е. для конкретных значений крутизны α и высоты его H, определяют в следующей последовательности (рис. I):

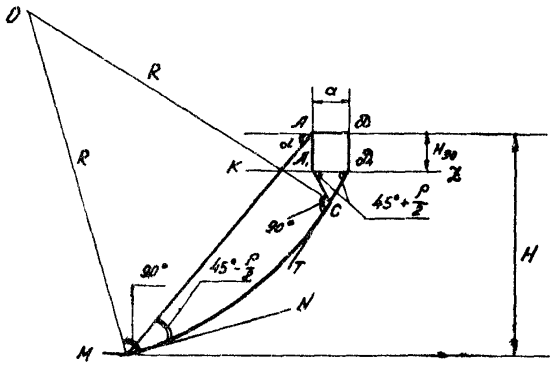


Рис. I. Построение поверхности обрушения в расчетной схеме IX

X Изложенные в настоящем приложении методики основываются на разработках Г.Л.Фисенко [2, 9, 10] и уточнены по результатам исследований некоторых других авторов [10,26,27,28].

определяют высоту вертикального участка поверхности обрушения H_{90} – вертикальной трещины отрыва – по формуле для расчетной схемы I (см. табл. I раздела 2);

проводят на уровне проектируемого откоса горизонтальную линию АД, на глубине H_{90} от нее проводят прямую $K\mathcal{Z}$, параллельную АД;

определяют ширину призмы обрушения a (см. рис. I) по формуле [10, 26]

$$a = \frac{2H\left[1 - ctg\alpha \cdot tg\left(\frac{\alpha+\rho}{2}\right)\right] - 2H_{90}}{tg\left(45 + \frac{\rho}{2}\right) + tg\left(\frac{\alpha+\rho}{2}\right)},$$

где

H – высота рассматриваемого откоса, м;

ρ – угол внутреннего трения массива вкрест по направлению к поверхности ослабления, град;

откладывают ширину призмы обрушения "а" от бровки откоса (участок АД на рис. I);

проводят прямую под углом $(45 - \frac{\rho}{2})$ к линии поверхности проектируемого откоса через подошву откоса (точку М);

опускают из точек Д и А перпендикуляры $ДД_1$ и $АА_1$ на линию $K\mathcal{Z}$. Из точки $Д_1$ проводят прямые $Д_1Т$ под углом $(45^0 + \frac{\rho}{2})$ к линии $K\mathcal{Z}$ (в сторону откоса); из точки $А_1$ проводят прямую под углом $(45^0 + \frac{\rho}{2})$ к линии $K\mathcal{Z}$ (в сторону, противоположную откосу) до пересечения с $Д_1Т$ в узловой точке С;

восстанавливают перпендикуляры к линиям МН из точки М и $Д_1Т$ – из точки С. Пересечение этих перпендикуляров даст точку О, являющуюся центром окружности, из которой радиусом R проводят криволинейный участок МС поверхности обрушения.

Дальнейший расчет общей устойчивости участка массива, ограниченного полученной поверхностью обрушения и поверхностью откоса, проводят по общепринятому способу:

разбивают вертикальными поверхностями этот массив на отсеки;

определяют вес каждого отсека Q_i, приходящийся на I пог.м длины выемки;

вычисляют коэффициент устойчивости K_y по выражению

$$K_y = \frac{tg\rho \Sigma N_i + C_M \mathcal{L}}{\Sigma T_i},$$

где $N_i = Q_i \cdot \cos\alpha_i$; $T_i = Q_i \sin\alpha_i$;

α_i – осредненный угол наклона к горизонту поверхности обрушения в пределах каждого выделенного отсека, град;

$\mathcal{L}$ – длина поверхности обрушения в пределах участка;

$$Q_i = h_i^{ср} \cdot a_{oi}^{ср} \gamma_o;$$

$h_i^{ср}$ – средняя высота отсека, м;

$a_{oi}^{ср}$ – средняя ширина отсека, м;

γ_o – объемный вес пород, т/м^3;

C_M – сцепление в массиве, т/м^2;

ρ – угол внутреннего трения в массиве, град.

При выполнении расчета величины параметров ρ и C_M, в соответствии с указаниями раздела 4, уменьшаются на величину коэффициента запаса, равного I,3.

Получение в результате расчета $K_y = I$ свидетельствует о том, что рассматриваемый откос устойчив при коэффициенте запаса, равном I,3. Если $K_y > I$, то предельная высота откоса при той же крутизне (при коэффициенте запаса I,3) может быть увеличена; при $K_y < I$ – высота должна быть уменьшена или откос соответственно уположен.

Для определения предельно допустимой высоты откоса при данной его крутизне и коэффициенте запаса I,3 достаточно выполнить два расчета, изменяя H во втором расчете в большую или меньшую сторону в зависимости от результатов первого.

По результатам двух таких вычислений строят график изменения коэффициента K от высоты откоса. Для этого в

точках, являющихся основанием откоса в двух выполненных расчетах, восстанавливают перпендикуляры к линии откоса в соответствии с рис. 2 и откладывают в одинаковых масштабах отрезки, превышающие I в величине K_y или недостающие до I.

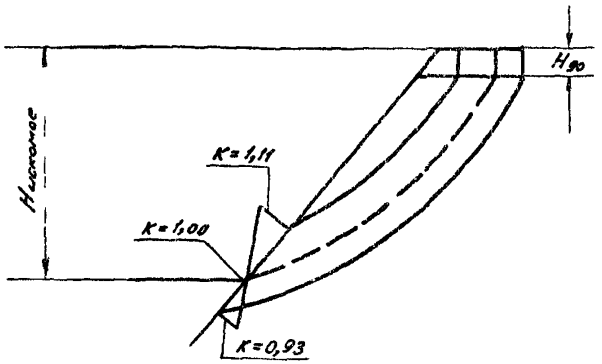


Рис. 2. Определение высоты предельного устойчивого откоса по двум расчетам

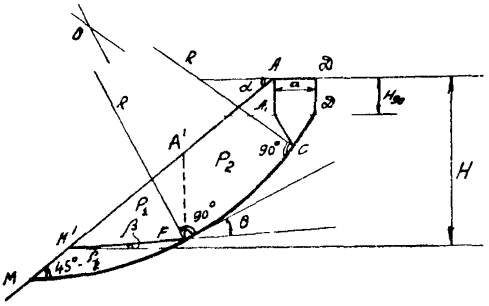
Концы этих перпендикуляров соединяют прямой, точка пересечения которой с линией откоса и укажет подошву искомого откоса (см.рис.2).

Для ускоренных определений предельной высоты устойчивого откоса можно использовать график, приведенный на рис. 5 раздела 2 [2, 9, IO]. На этом графике приведены величины предельной высоты H в долях от H_{90}, определяемой по схеме I табл. I раздела 2 в зависимости от значений ρ, величина которого снижается на коэффициент запаса (I,3).

Приложение 5

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПО СХЕМЕ X[I]

Настоящая расчетная схема, как и схема IX, (см.приложение 4) отражает размещение поверхности обрушения в верхней части массива, как в квазиизотропной среде; в нижней части поверхности обрушения предполагается ее прохождение по контактам плоскостей ослабления (см.рисунок). В этом случае рекомендуется следующая последовательность расчета:



Построение поверхности обрушения в расчетной схеме X

ориентировочно для заданной крутизны откоса и сдвиговых параметров ρ и $C_м$ (уменьшенных на коэффициент запаса устойчивости) по графику, приведенному на рис. 5 раздела 2, определяют предельную высоту устойчивого откоса, как для квазиизотропного массива;

по способу, изложенному для расчетной схемы IX, осуществляется построение поверхности обрушения для найденной (в соответствии с указанием предшествующего абзаца) высоты откоса;

на произвольно выбранном от подошвы откоса расстоянии проводят линию, совмещенную с поверхностью ослабления под углом β к горизонту (см.рисунок), что определяет очерта-

[I] Данная методика разработана во ВНИМИ [10,27,28,29].

ние призмы возможного обрушения;

в призме возможного обрушения $M^1AДД_1F$ выделяют призму упора (I) $M'A'F$ и призму активного давления (2) $A'AДД_1F$;

призму активного давления разбивают на отдельные отсеки. Вес каждого из них составляет

$$P_{2i} = h_i^{cp} a_i \cdot \gamma_0 \quad ,$$

где

h_i^{cp} – осредненная высота отсека, м;

a_i – ширина отсека, м;

γ_0 – объемный вес массива пород, т/м^3;

определяют нормальные и сдвигающие составляющие для каждого отсека. После алгебраического сложения удерживающих и сдвигающих сил, действующих по поверхности обрушения в пределах участка призмы активного давления (FCD_1), их проектируют на направление поверхности ослабления ($M'F$).

В результате определяются:

$\Sigma T_i \cos\theta$ – сдвигающая сила, возникающая на поверхности под действием призмы активного давления;

$(tg\rho \Sigma N_i + C_M \mathcal{L}_a)\cos\theta + (\Sigma T_i - \Sigma N_i tg\rho - C_M \mathcal{L}_a)\sin\theta\, tg\rho_{тр}$ – удерживающая сила на поверхности $M'F$, возникающая под влиянием призмы активного давления.

В этих выражениях:

$$N_i = P_{2i} \cdot \cos\alpha_i ;$$

$$T_i = P_{2i} \cdot \sin\alpha_i ;$$

α_i – осредненный угол наклона к горизонту поверхности обрушения в пределах каждого выделенного отсека, град;

$\mathcal{L}_a$ – длина поверхности обрушения на участке призмы активного давления, м;

θ – угол, град., между направлением поверхности ослабления ($M'F$) и перпендикуляром, опущенным из точки F к радиусу поверхности обрушения на участке FC (см.рисунок);

определяют силы, возникающие на поверхности MF под действием призмы упора:

$P_i \cos\beta \operatorname{tg}\rho_{тр} + C_{тр}\mathcal{L}_y$ – удерживающая сила;

$P_i \sin\beta$ – сдвигающая сила, при падении слоев в сторону массива эта сила становится удерживающей).

В приведенных выражениях:

P_i – вес призмы упора, Т ;

$\mathcal{L}_y$ – длина поверхности обрушения на участке призмы упора, м;

устанавливают величину коэффициента устойчивости рассматриваемого откоса, которую вычисляют в случае падения поверхностей ослабления в сторону откоса по выражению

$$K = \frac{P_i \cos\beta \operatorname{tg}\rho_{тр} + C_{тр}\mathcal{L}_y + \left(\operatorname{tg}\rho \Sigma N_i + C_м \mathcal{L}_a\right)\cdot\cos\theta + \left(\Sigma T_i - \Sigma N_i \operatorname{tg}\rho - C_м \mathcal{L}_a\right)\sin\theta \operatorname{tg}\rho_{тр}}{\Sigma T_i \cos\theta + P_i \sin\beta},$$

а при падении поверхностей ослабления в сторону массива –

$$K = \frac{P_i \cos\beta \operatorname{tg}\rho_{тр} + C_{тр}\mathcal{L}_y + \left(\operatorname{tg}\rho \Sigma N_i + C_м \mathcal{L}_a\right)\cos\theta + \left(\Sigma T_i - \Sigma N_i \operatorname{tg}\rho - C_м \mathcal{L}_a\right)\sin\theta \operatorname{tg}\rho_{тр} + P_i \sin\beta}{\Sigma T_i \cos\theta};$$

изменяют положение нижнего участка поверхности обрушения, совмещаемого с плоскостью ослабления, и расчет повторяют;

определяют высоту откоса заданной крутизны, при которой K = I. Способ ее отыскания остается такой же, как и для расчетной схемы IX (см.рис.2 приложения 4).

По большому количеству подобных расчетов во ВНИМИ [28] составлены таблицы, с помощью которых можно ускоренно определить искомую предельную высоту устойчивого откоса (по заданным характеристикам сопротивления сдвигу на различных участках поверхности обрушения и углам наклона откоса).

При этом последовательность расчетов принимается следующей:

по графику на рис. 5 раздела 2, по принятым значениям α и ρ (уменьшенным на коэффициент запаса устойчивости) определяют предельную высоту H квазиизотропного откоса;

для получения искомой предельной высоты устойчивого откоса по принятой расчетной схеме (см.рис.4 раздела 2) полученная в соответствии с рекомендациями предшествующего пункта высота откоса H уменьшается на поправочный коэффициент δ, т.е.

$$H_1 = H \cdot \delta .$$

Для определения коэффициента δ необходимо предварительно вычислить коэффициент C по выражению

$$C = \frac{tg\,\rho}{tg\,\psi} - 1.28 ,$$

где

$$tg\,\psi = tg\,\rho_{тр} + \frac{C_{тр}}{\sigma_{ср}} ;$$

$\sigma_{ср}$ – средняя интенсивность нормального напряжения по поверхности скольжения, $Т/м^2$

$$\sigma_{ср} = 0.3\,\gamma_0 \cdot H \cdot \cos\beta .$$

После этого вычисляют коэффициент δ по выражению

$$\delta = \delta_0 - C\delta ,$$

в котором вспомогательные коэффициенты δ_0 и δ принимают по таблице, приведенной в настоящем приложении.

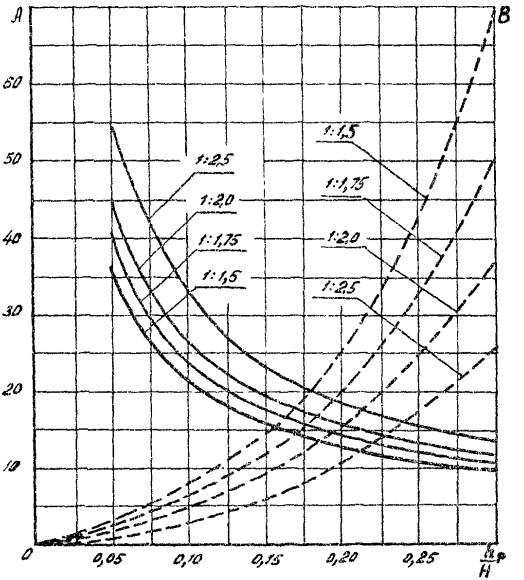
По указанной методике ускоренного определения в ЦНИИСе вычислены искомые значения H для некоторых значений крутизны откоса, величины и направления угла β и величины H_{90} (см.рис.6, раздел 2).

Угол откоса α, град	Значения коэффициентов b_0 и δ при угле падения β поверхностей ослабления, град.													
	$+30^0$		$+20^0$		$+10^0$		0^0		-10^0		-20^0		-30^0	
	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ
40	I,000	0,045	0,920	0,079	0,850	0,II8	0,795	0,I60	0,740	0,300	0,532	0,400	0,470	0,440
50			I,000	0,063	0,9I0	0,II0	0,8I5	0,I50	0,785	0,250	0,687	0,340	0,550	0,380
60					I,000	0,I00	0,880	0,I40	0,800	0,220	0,660	0,295	0,590	0,340
70							I,000	0,I35	0,880	0,205	0,720	0,265	0,620	0,305
80									I,000	0,I95	0,800	0,245	0,690	0,280

Примечание. Углы падения β в сторону массива обозначены со знаком " + ", а в сторону откоса - со знаком " - ".

Приложение 6

График для определения коэффициентов А и В при расчете местной устойчивости



Приложение 7

Использование динамического пробника для получения расчетных параметров ускоренным методом

Принцип использования динамического пробника конструкции Ю.Д.Белова [30, 31, 32] основан на оценке относительной механической прочности породы по количеству работы, затраченной на погружение в нее металлического штыря (пуансона) сечением $S = 1$ см^2, забиваемого молотком весом 1 кг. Общий вид динамического пробника представлен на рисунке.

Относительная механическая прочность вычисляется по выражению

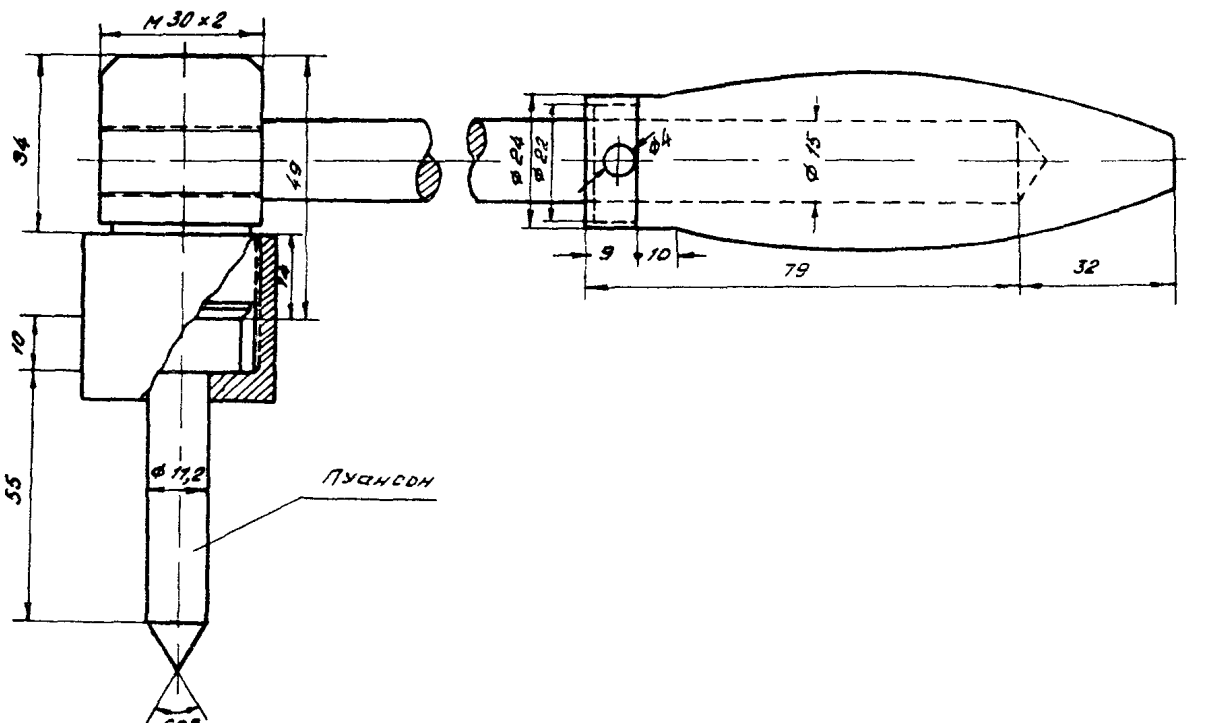
$$R_{отн} = \frac{A \cdot n}{\ell \cdot S},$$

где $R_{отн}$ – относительная механическая прочность, кГ/см^2;
n – число ударов;
ℓ – глубина погружения (внедрения) пуансона, см;
A – работа одного плечевого удара молотка весом 1 кг., принимаемая в среднем равной 160 кгсм [30, 31].

Преимуществом использования динамического пробника является возможность осуществления по очень простой методике массовых определений прочности непосредственно в натурных условиях, т.е. возможность учета естественного состояния и сложения исследуемых пород в имеющихся обнажениях.

Несмотря на то, что точность отдельных определений невелика, но за счет массовости испытаний надежность получаемых результатов (при их статистической обработке) достаточна для практических целей.

Полученная относительная механическая прочность может быть корреляционно связана с различными прочностными параметрами, определяемыми по более точной методике (например, по типу зависимости, изображенной на рис. 9 раздела 4.



Динамический пробник

Приложение 8

Значения $\rho_{тр}$ при отсутствии заполнителя по контактам поверхностей ослабления[1]

Характеристика пород	$\rho_{тр}$, град, при поверхностях			
	неровных шероховатых	ровных шероховатых	неровных гладких	ровных гладких
Крепкие песчаники	28 - 31	24 - 28	22 - 27	20 - 26
Известняки	24 - 27	23 - 25	20 - 22	16 - 19
Аргиллиты, глинистые сланцы	28 - 26	21 - 28	18 - 20	15 - 18
Контакт песчаника с известняком	-	-	-	33
Мергели	-	-	-	16
Глинистые сланцы	-	-	-	18
Аргиллиты с зеркалами скольжения на поверхностях ослабления	-	-	-	14
Алевролиты	-	27 - 28	-	22 - 23
Алевролиты с очень гладкими (местами зеркальными) поверхностями	-	-	-	13 - 16
Мелкозернистый песчаник на глинистом цементе	33	-	-	-

Примечание. При возможности обводнения указанные в таблице значения $\rho_{тр}$ следует уменьшать на 2 - 4 .

1 Таблица составлена на основании данных Г.Л.Фисенко [2, 9] и Н.Н.Куваева, изложенных в его диссертационной работе "Влияние трещиноватости на устойчивость бортов скальных разрезов", ВНИМИ, 1958.

Приложение 9

Значение $C_{тр}$ при отсутствии закономерности по контактам поверхностей ослабления [2, 9]

Характеристика поверхностей ослабления	Характеристика толщи	$C_{тр}$, $т/м^2$
Поверхность скольжения по контактам слоев	Дислоцированная осадочная толща	2 – 5
Контакты слоев	Неуплотненная недислоцированная слаборассланцованная осадочная толща	50% от сцепления под углом к напластованию
Контакты слоев	Уплотненная слаборассланцованная осадочная толща	10 – 18
Контакты слоев	Метаморфизованная осадочная толща	5 – 10
Сплошные неровные трещины и тектонические нарушения	Массивы изверженных и метаморфических пород	5 – 10

Приложение IO

Примеры расчета общей устойчивости откосов внешних

Пример I

и с х о д н ы е д а н н ы е . Проверить расчетом общую устойчивость откоса, изображенного на рисунке. Высота откоса H=22 м, осредненная крутизна $\alpha = 55^0$.

Л и т о л о г и я: аргиллиты - 76 , песчаники - 24%. На рисунке показано расположение слоистости и сочетание слоев, дана роза устойчивости, построенная по методу В.Н. Славянова, и основные данные для ее построения [88]. Выделены три системы трещин: I и II имеют благоприятное по отношению к откосу падение; II система характеризуется неблагоприятным падением, но угол ее наклона круче угла откоса (72-90^0 против 55-60^0).

Таким образом, из имеющихся расчетных схем можно использовать схему IX, рассматривающую откос в качестве квазиизотропного массива. Из таблицы, характеризующей трещиноватость рассматриваемого массива, следует, что средний размер элементарного структурного блока $\ell_{ср} \approx 18{,}0$ см.

При H= 22 м $\frac{H}{\ell} = \frac{22{,}0}{0{,}18} = 164$.

При таком соотношении $\frac{H}{\ell}$ массив считается квазиизотропным [84].

Последовательность расчета

I. Определяем необходимые расчетные параметры для схемы IX.

Требуется знать $C, \rho, \gamma_0, \rho_{тр}, C_м, \frac{H}{\ell}$

2. Согласно указаниям, изложенным в разделе 4, принимаем для аргиллитов $\rho = 82^0$, для песчаников $\rho = 84^0$. Величины сцепления в куске[I] для аргиллитов $C_{арг} = 60$ Т/м^2;

[I] В рассматриваемом примере приняты фактические значения прочностных параметров, полученные в результате испытаний образцов с рассматриваемого объекта в лабораторных условиях.

для песчаников $C_{песч.} = 1420$ Т/м^2.

3. Определяем значения ρ и C в куске, взвешенные по мощности литологических разностей:

$$C^{взв} = \frac{76 \times 60 + 24 \times 1420}{100} = 385 \text{ Т/м}^2;$$

$$\rho^{взв} = \frac{76 \times 32 + 24 \times 82}{100} = 32,5^0 = 32^0 30';$$

$\gamma_0 = 2,4$ Т/м^3 (взвешенное по мощности значение).

4. Вычисляем окончательные расчетные значения C и ρ с учетом уменьшения их величин на коэффициент запаса K=1,8

$$tg\rho_{расч} = \frac{tg\,\rho^{взв}}{1,8} = \frac{tg\,32^\circ 30'}{1,8} = 0,420; \qquad \rho_{расч} = 26^0;$$

$$C_{расч} = \frac{C^{взв}}{1,8} = \frac{385}{1,8} = 296 \text{ Т/м}^2 \approx 30 \text{ кГ/см}^2.$$

5. Находим значение $C_м$ по формуле (18) (см. раздел 4)

$$C_м = C_{тр} + \frac{C - C_{тр}}{1 + a \ln \frac{H}{x}}.$$

Так как обводнения не отмечено, шероховатость стенок поверхностей ослабления (трещин) средняя, а заполнитель отсутствует, то согласно рекомендациям, изложенным в разделе 4, по таблице в приложении 9 находим:

$C_{тр} = 8,5$ т/м^2 (для аргиллитов и песчаников принимаем среднее минимальное значение);

расчетное значение $C_{тр}^{расч} = \frac{8,5}{1,8} = 2,7$ Т/м^2;

по рис. 12 раздела 4 при C = 80 кГ/см^2, a = 22

$$C_м = 2,7 + \frac{296 - 2,7}{1+2 \ln 164} = 5,8 \text{ Т/м}^2.$$

6. Согласно табл. 1, раздела 2 $H_{90} = \frac{2 C_м}{\gamma} ctg\left(45 - \frac{\rho}{2}\right) = \frac{2 \times 5,8}{2,4} ctg\left(45 - \frac{26}{2}\right) = 7$ м.

7. По графику, приведенному в разделе 2 на рис. 5, при $\alpha = 55^0$ и $\rho = 26^0$ получаем $H' = \frac{H}{H_{90}} = 4{,}0$ м; т.е.

$$H = H' \cdot H_{90} = 4{,}0 \times 7{,}0 = 28 \text{ м} > 22 \text{ м}.$$

Таким образом, рассматриваемый откос вполне устойчив, коэффициент запаса превышает 1,3.

Пример 2

Исходные данные. Оценить общую устойчивость оводненного откоса из выветрелого до состояния мелкозема аргиллита. Мощность выветрелого слоя до 5 м. Крутизна откоса 38^0 (1:1,5), высота его 16 м. В данном случае применима расчетная схема АМ. Полученные при испытаниях на пастах для влажности по 33 % расчетные параметры выветрелого до мелкозема аргиллита оказались равными:

$C = 3{,}5$ Т/м^2;

$\rho = 12^0$;

$\gamma = 2{,}0$ Т/м^2.

Последовательность расчета

Мелкозем можно рассматривать как изотропный материал, т.е. $C_м = C$ и $\rho_{тр} = \rho$.

Для получения расчетных значений исходные параметры прочности уменьшаем на коэффициент запаса $K = 1{,}3$

$$tg\,\rho_{расч} = \frac{tg\ 12^0}{1{,}3} = 0{,}168; \quad \rho_{расч} = 9^0 15'; \qquad C_{расч} = \frac{3{,}5}{1{,}3} = 2{,}7 \text{ Т/м}^2.$$

По графику на рис. 5 в разделе II для $\alpha = 38^0$ (крутизна откоса) и $\rho = 9^0 15'$ получаем: $H' = \frac{H}{H_{90}} = 4{,}8$ м;

$$H_{90} = \frac{2 \cdot 2{,}7}{2} ctg\,(45^0 - \frac{9^0 15'}{2}) = 3{,}2 \text{ м};$$

$$H = H' \cdot H_{90} = 4{,}8 \cdot 3{,}2 = 15 \text{ м} < 16 \text{ м}.$$

Таким образом, откос заданной крутизны (38^0) имеет коэффициент запаса устойчивости менее I,3.

Для обеспечения надлежащей устойчивости необходимо запроектировать более пологий откос. Принимаем заложение откоса I:2 ($26^0 24'$). Тогда по графику на рис.5 получим:

$$H' = \frac{H}{H_{90}} = 5{,}6 \text{ м}; \quad H = H' \cdot H_{90} = 5{,}6 \cdot 3{,}2 = 18\text{м} > 16\text{м}$$

Следовательно, при заложении откоса I:2 устойчивость его достаточна.

Л И Т Е Р А Т У Р А

I. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л.,"Недра", 1970.

2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М., "Недра", 1965.

3. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С., Осипов В.И., Трофимов В.Г., Грунтоведение, М.,Изд-во МГУ, 1971.

4. Строительные нормы и правила. СНиП П-Б I-62. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. М., Госстройиздат, 1962.

5. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог (СН-449-72). М., Оргтрансстрой, 1978.

6. Строительные нормы и правила, часть П, раздел Д, глава I, Железные дороги, нормы проектирования (СНиП П-Д I-62). М., Изд-во литературы по строительству, 1964.

7. Технические условия сооружения железнодорожного земляного полотна (СН 61-59).М.,Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1960.

8. Альбом типовых поперечных профилей земляного полотна вновь строящихся железных дорог. М.,Главтранспроект, 1964.

9. Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и отвалов. Л., изд. ВНИМИ, 1962.

10. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л., изд. ВНИМИ, 1972.

11. Савков Л.В. Расчет устойчивости откосов в скальных трещиноватых породах. "Физико-механические проблемы разработки полезных ископаемых", № 5. Доклады, "Наука", 1965.

12. Савков Л.В. К вопросу учета трещиноватости при расчетах устойчивости откосов в скальных породах."Физико-

технические проблемы разработки полезных ископаемых", № 1. Новосибирск, "Наука", 1967.

13. Звонарев Н.К., Кагермазова С.В. Предварительный расчет параметров осыпания откосов на карьерах в результате выветривания. Известия высших учебных заведений . Геология и разведка, № 12. М., изд. МГРИ, 1969.

14. Методические указания по оценке местной устойчивости откосов и выбору способов их укрепления в различных природных условиях. М., изд. ЦНИИСа, 1970.

15. Матвеев Б.В. Методика лабораторного определения свойств горных пород на сдвиг (срез). Л., изд. ВНИМИ, 1961.

16. Протодьяконов М.М., Койфман М.И., Чирков С.Е., Кунтыш М.Ф., Тедер Р.И. Паспорта прочности горных пород и методы их определения. М., "Наука", 1964.

17. Чирков С.Е. Влияние масштабного фактора на прочность углей. М., "Наука", 1969.

18. Методические указания по производству натурных испытаний сопротивления сдвигу неоднородных слоистых и трещиноватых пород. Л., изд. ВНИМИ, 1965.

19. Методическое пособие по натурным методам механических испытаний горных пород. Л., изд. ВНИМИ, 1969.

20. Барон Л.И., Логунцов Б.М., Позин Е.З. Определение свойств горных пород. Госгортехиздат, 1962.

21. Методические указания по исследованию скальных массивов при изысканиях дорог. М., изд. ЦНИИСа, 1967.

22. Предложения по совершенствованию норм проектирования скальных выемок. М., изд. ЦНИИСа, 1968.

23. Методика инженерно-геологического обследования оползней на железных дорогах. "Вопросы геотехники", № 14. Днепропетровск, 1969.

24. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. М., Оргтрансстрой, 1973.

25. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений, М., "Экономика", 1969.

26. Мочалов А.М. Определение ширины призмы обрушения плоского откоса. "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых", № 4. Новосибирск, "Наука", 1968.

27. Мочалов А.М. Расчет устойчивости слоистых откосов. Труды ВНИМИ, сб.88, Л., изд. ВНИМИ, 1971.

28. Козленко П.Д. Расчет устойчивости слоистых откосов. Труды ВНИМИ, сб.58. Л., изд. ВНИМИ, 1966.

29. Козленко П.Д. Расчет углов наклона бортов карьеров в условиях анизотропных пород. Труды ВНИМИ, сб.38. Л., изд. ВНИМИ, 1960.

30. Белов Ю.Д. Определение прочности горных пород динамическими пробниками. Труды ВНИМИ, сб.60.Л., изд. ВНИМИ, 1966.

31. Кагермазова С.В. Некоторые результаты изучения выветривания горных пород на карьерах. Труды ВНИМИ, сб.64. Л., изд. ВНИМИ, 1968.

32. Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л., изд. ВНИМИ, 1971.

33. Славянов В.Н. Инженерно-геологические прогнозы устойчивости откосов. М., Изд-во литературы по строительству, 1964

34. Кузаев Н.Н. Влияние трещиноватости на устойчивость бортов карьеров. "Научные записки УкрНИИпроекта", вып.10, Киев, 1963.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

П Р Е Д И С Л О В И Е 3

I. Инженерно-геологические свойства легковыветривающихся скальных пород и особенности проектирования откосов в них 4

2. Расчет общей устойчивости откосов выемок.. 9

3. Оценка местной устойчивости..... 2I

4. Прочностные параметры скальных пород и методы их определения..... 27

5. Возможные типовые и индивидуальные решения 34

6. Характер и объем инженерно-геологических исследований..... 37

П Р И Л О Ж Е Н И Я

I. Методика классификации пород по степени устойчивости к выветриванию..... 40

2. Методика нахождения оптимального очертания откосов выемок..... 44

3. Номограммы для оценки общей устойчивости откосов..... 46

4. Последовательность выполнения расчетов общей устойчивости откосов по схеме IX..... 57

5. Последовательность выполнения расчетов общей устойчивости откосов по схеме X..... 6I

6. График для определения коэффициентов А и Б при расчете местной устойчивости .. 66

7. Использование динамического пробника для получения расчетных параметров ускоренным методом..... 67

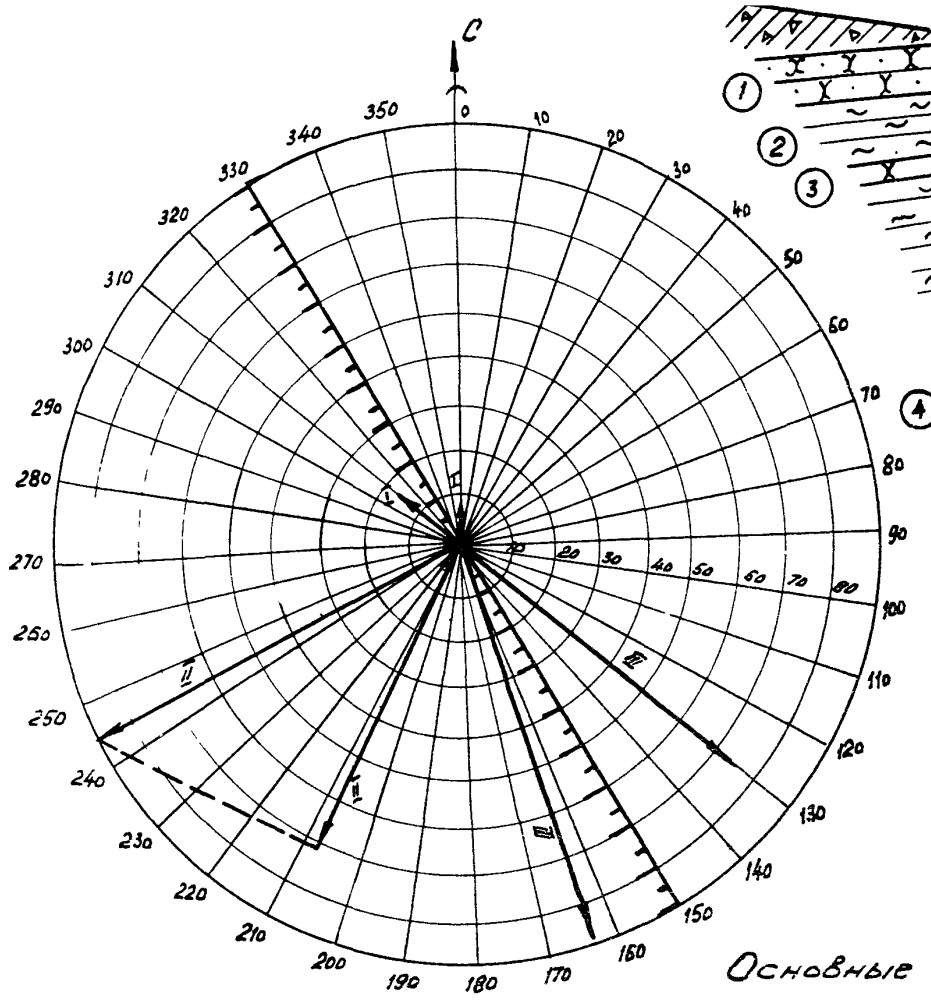
8. Значения $\rho_{тр}$ при отсутствии заполнителя по контактам поверхностей ослабления..... 69

9. Значение $C_{тр}$ при отсутствии заполнителя по контактам поверхностей ослабления..... 70

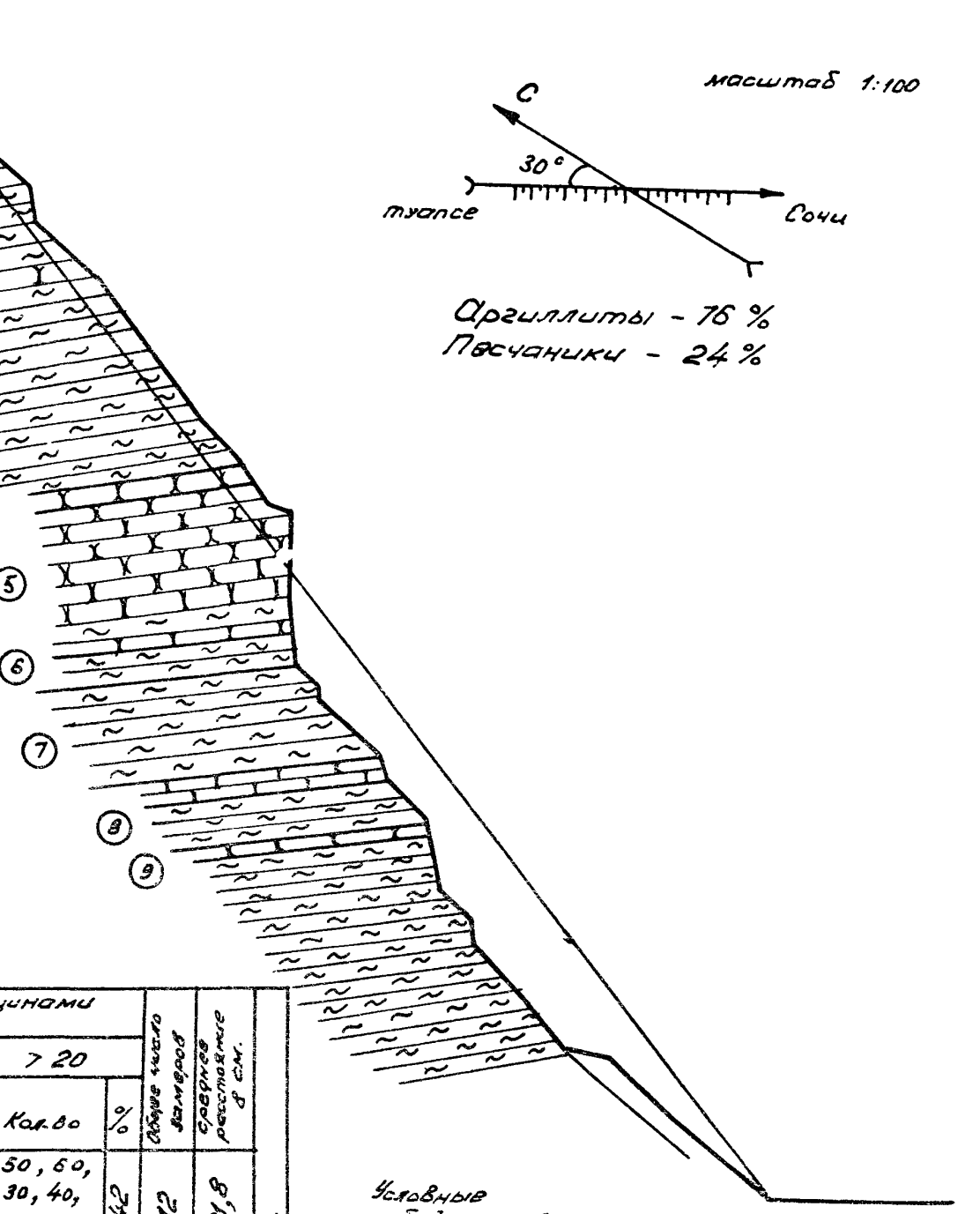
IO. Примеры расчета общей устойчивости откосов выемок..... 7I

Редактор Г.А.Минина
Корректоры М.Ф.Шувалова, О.Д.Сухова

Подп. к печ. 12.XI.73г. № Л-77149
Заказ 383 . Объем 5п.л.+1 вклейка.
Тираж 800 экз. Ротапринт ЦНИИСа



Основные данные для построения розы



масштаб 1:100

Аргиллиты - 76 %
Песчаники - 24 %

Система трещиноватости	Азимуты угла падения	Угол падения	Характеристика трещин	Расстояние между трещинами в см. 1-5 Кол-во	%	5-10 Кол-во	%	10-20 Кол-во	%	>20 Кол-во	%	Общее число замеров	Среднее расстояние d см.
I	355-310	5-14	ширина до 3мм. шероховат. - среднее обводнение - сухое	1,2,3 1,2,3	50	—	—	20	8	50, 60, 30, 40, 50	42	12	21,8
II	207-245	72-90	ширина - до 2мм. шероховат. - средняя бугристая обводнение - сухое	3,4,5,3 4,5,3,5 3,4,5.	73	10, 8, 9, 10	27	—	—	—	—	15	5,4
III	130-163	72-90	ширина - волосяные шероховат. - средняя обводнение - сухое	3,4,5	16	10, 10, 8, 9, 10, 6, 7, 8, 9, 10, 8, 9, 10	68	—	—	30, 40, 50	16	19	13

Ср. = 13,4 см.

Условные обозначения:

Линия откоса

К примеру расчета общей устойчивости откоса

gost.e-ecolog.ru